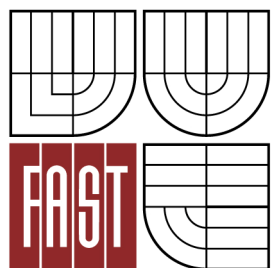




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# KRITÉRIA HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

CRITERIA FOR EVALUATION OF ENERGY PERFORMANCE OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL ÚTERSKÝ

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2014




## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. MICHAL ÚTERSKÝ
<b>Název</b>	Kritéria hodnocení energetické náročnosti čistíren odpadních vod
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

  
.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



#### Podklady a literatura

- [1] SHI, Cao Ye. Mass flow and energy efficiency of municipal wastewater treatment plants. 2., dopl. vyd. London: International Water Association, 2006, xii, 331 s. ISBN 18-433-9382-4.
- [2] HLAVÍNEK, Petr. Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů. 1. vyd. Brno: Noel 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-860-2000-2.
- [3] HLAVÍNEK, Petr, MIČÍN, Jan, PRAX, Petr. Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [4] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a související předpisy.
- [5] Vyhláška č. 480/2012 Sb. kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu.
- [6] Vybraná čísla časopisů SOVAK a Vodní hospodářství vztahujícími se k uvedené problematice.
- [7] Sborník Water Science and Technology, IWA Publishing.

#### Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V první části práce bude zpracována rešerše problematiky na téma hodnotící metodiky energetických auditů čistíren odpadních vod u nás i ve světě. V druhé části práce budou navržena kritéria hodnocení energetického stavu čistíren. Ověření navržených kritérií na vybrané čistírně odpadních vod na jižní Moravě.

#### Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozdělte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Hlušík, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Úkolem této diplomové práce je návrh kritérií hodnocení energetické náročnosti čistíren odpadních vod. Cílem je vytvoření energetického dotazníku a vyhodnocovacího formuláře, který zatřídí čistírny odpadních vod do hodnotících kategorií a určí, které ukazatele navyšují spotřebu elektrické energie. Ověření navržených kritérií bylo provedeno pomocí údajů z již existující čistírny odpadních vod.

## **Klíčová slova**

Čistírna odpadních vod, energetická náročnost, energetický dotazník, energetický audit.

## **Abstract**

The aim of the Diploma Thesis is to propose an assessment of energy-consuming criteria of wastewater treatment plant. We focus on formation of energy questionnaire that is used to evaluate the wastewater treatment plant according to the criteria, and subsequently indicate which processes increase energy consumption. Verification of proposed energy-consuming criteria was carried out with the data of an existing wastewater treatment plant.

## **Keywords**

Wastewater treatment plant, energy-consuming, energy questionnaire, energy audit.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Michal Úterský *Kritéria hodnocení energetické náročnosti čistíren odpadních vod*. Brno, 2014. 76 s., 0 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušítk, Ph.D.

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2014

.....  
podpis autora  
Bc. Michal Úterský

## **Poděkování:**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hlušítkovi, Ph.D. za účinnou odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
1.1 LEGISLATIVA S VODOHOSPODÁŘSKOU TÉMATIKOU.....	3
<b>2 ENERGETICKÁ OPTIMALIZACE ČOV.....</b>	<b>4</b>
2.1 TREND VE SVĚTĚ .....	4
<b>2.2 ENERGETICKÝ POTENCIÁL ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Hlavní cíle ekonomického čištění odpadních vod .....	6
2.2.2 Dosažení energetických úspor .....	8
2.2.3 Matematické modelování energetické náročnosti ČOV.....	9
<b>2.3 DOPADY STAVU STOKOVÉ SÍTĚ NA ENERGETICKOU NÁROČNOST ČOV .....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Spotřeba elektrické energie na ČOV.....	11
2.3.2 Poruchy na stokové síti a infiltrace .....	11
2.3.3 Postupy zjišťování infiltrace a nepovolených připojení.....	12
2.3.4 Metodika měření infiltrace.....	12
<b>2.4 ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY A ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD PROSTŘEDNICTVÍM ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ.....</b>	<b>14</b>
2.4.1 Řídicí systémy pro ČOV - AQUALOGIC® a ENERLOGIC® založené na principu Fuzzy-Logic od firmy Passavant-Intech .....	14
2.4.2 Konkrétní příklad využití systému Fuzzy-Logic.....	17
2.4.3 Řídicí systémy pro ČOV – HACH LANGE - RTC (W.T.O.S.) .....	20
2.4.4 Konkrétní příklad využití systému HACH-LANGE.....	21
<b>2.5 RECYKLACE ENERGIE NA ČOV .....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Směřování k pozitivní výrobě elektrické energie.....	25
<b>2.6 ENERGETICKÁ SOBĚSTAČNOST ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD .....</b>	<b>26</b>
2.6.1 Faktory ovlivňující energetickou potřebu ČOV – možnosti úspory energie.....	27
2.6.2 Kaly – jediný zdroj energie na ČOV.....	28
2.6.3 Optimalizace technologických podmínek procesu anaerobní stabilizace kalů .....	28
2.6.4 Možnosti intenzifikace produkce bioplynu .....	29
2.6.5 Shrnutí .....	31
<b>2.7 ENERGETICKÝ AUDIT A BENCHMARK .....</b>	<b>32</b>
2.7.1 Manuál pro vykonání energetického auditu .....	32
2.7.2 Benchmark energetické optimalizace .....	33
2.7.3 Benchmarking ČOV provozovaných skupinou Veolia Voda ve střední Evropě. ....	34
<b>2.8 ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z BIOMASY .....</b>	<b>37</b>
2.8.1 Využití obnovitelné energie .....	37
<b>2.9 SHRNUÍ ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE .....</b>	<b>38</b>
<b>3 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 POPIS ÚDAJŮ V ENERGETICKÉM DOTAZNÍKU.....</b>	<b>41</b>
3.1.1 Obecné údaje .....	41
3.1.2 Údaje o vypouštěných odpadních vodách a způsob čištění OV .....	41
3.1.3 Údaje o množství vypouštěných vod .....	49
3.1.4 Údaje o jakosti vypouštěných odpadních vod.....	49



3.1.5	Objekty a strojní zařízení .....	50
3.1.6	Ekonomické ukazatele .....	53
3.1.7	Řízení provozu čistírny odpadních vod .....	55
3.1.8	Pomocné ukazatele .....	59
<b>3.2 HLAVNÍ UKAZATELE PRO MOŽNOU ENERGETICKOU ÚSPORU.....</b>		<b>61</b>
3.2.1	Hlavní ukazatele z dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV .....	62
3.2.2	Vyhodnocovací formulář energetického auditu ČOV.....	63
<b>3.3 KONKRÉTNÍ ÚDAJE Z ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD .....</b>		<b>64</b>
3.3.1	Závěrečné vyhodnocení .....	65
3.3.2	Doporučení pro konkrétní čistírnu odpadních vod.....	67
<b>4 ZÁVĚR .....</b>		<b>68</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>		<b>69</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>		<b>72</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>		<b>74</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>		<b>75</b>
<b>SUMMARY .....</b>		<b>76</b>

# 1 ÚVOD

Spotřeba elektrické energie velmi negativně zasahuje do rozpočtů nejen domácností, firem a dopravců, ale také do provozu čistíren odpadních vod. Na moderních čistírnách odpadních vod se instalují moderní zařízení, která mají nižší spotřebu elektrické energie. Řízení čistírny odpadních vod se provozuje pomocí řídicích systémů, které se také významně podílejí na úspoře elektrické energie. Mnohé západní státy provozují svoje konkrétní energetické audity, které analyzují současný stav čistíren odpadních vod s cílem posoudit technicko-ekonomický potenciál úspor energie. Snahou je, aby čistírny odpadních vod využívaly energetický potenciál odpadní vody a energetický potenciál z produktů čištění odpadní vody, zejména kaly. Při vyhnívání kalu se dá získat bioplyn, který se v kogeneračních jednotkách spaluje a vzniká elektrická energie. Takto vzniklá elektrická energie se významně podílí na soběstačnosti čistíren odpadních vod v oblasti úspory elektrické energie, což výrazně šetří náklady na elektrickou energii. Čistírna odpadních vod je stavba, která může být i energeticky soběstačná a je schopna využívat různé nové a alternativní zdroje energie, které byly doposud přehlíženy. Snižování spotřeby energií a využívání obnovitelných zdrojů je správným krokem do budoucnosti.

## 1.1 LEGISLATIVA S VODOHOSPODÁŘSKOU TÉMATIKOU

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění;
- Vyhláška MŽP č. 293/2002 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových;
- Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech;

Kategorie ČOV (EO) <sup>1) 7)</sup>	CHSK <sub>Cr</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N <sub>celk</sub> <sup>2), 8), 9)</sup>		P <sub>celk</sub> <sup>9)</sup>	
	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4), 6)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4), 6)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4)</sup>
< 500 <sup>11)</sup>	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 – 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3 <sup>10 9)</sup>	8 <sup>10 9)</sup>
10 001 – 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Obr.1: Emisní standardy přípustného znečištění odpadních vod [24]

- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, v platném znění;
- Vyhláška MZ č. 428/2001 Sb.

## **2 ENERGETICKÁ OPTIMALIZACE ČOV**

### **2.1 TREND VE SVĚTĚ**

Vzrůstající spotřeba energie společně s její vzrůstající cenou vede nutně k optimalizaci využívání dostupné energie a k hledání alternativních zdrojů energie. Tento trend můžeme pozorovat ve všech odvětvích průmyslu a výjimkou není ani vodní hospodářství. [1]

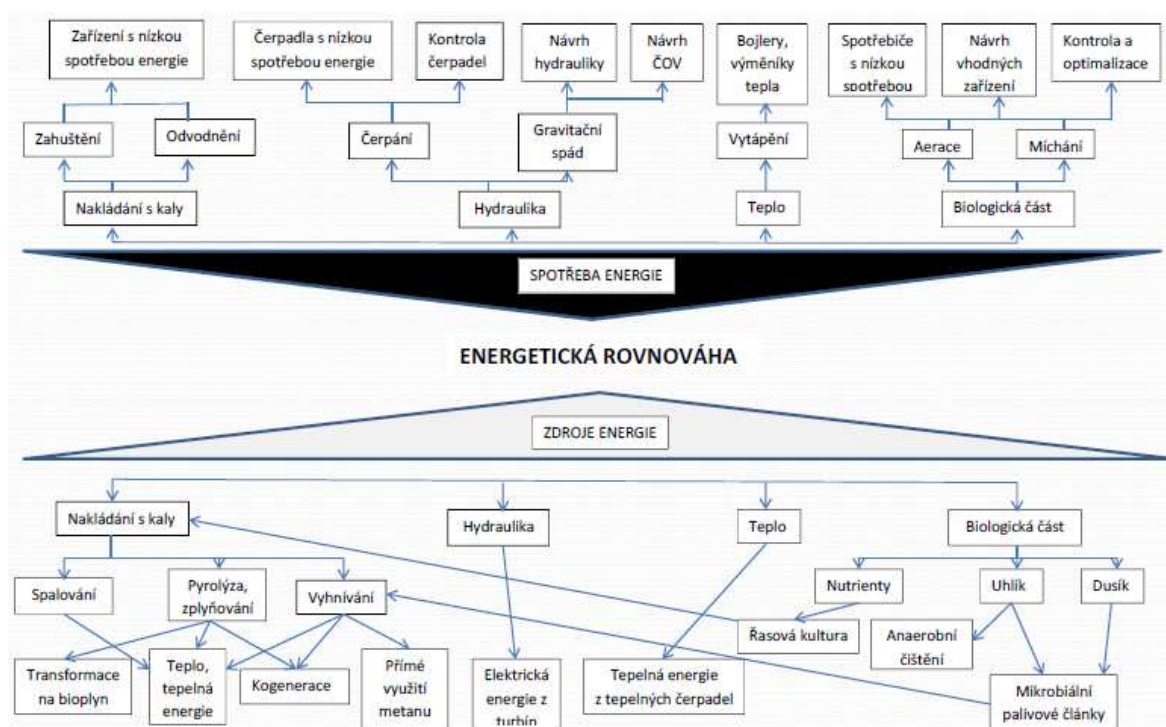
Ve světě už došlo ke změně paradigmatu a na odpadní vodu se začíná pohlížet ne jako na odpad, ale jako na surovinu. Odpadní voda obsahuje organické látky, tepelnou a kinetickou energii, což představuje potenciální zdroje využitelné zdroje energie. Čistírny odpadních vod často nejsou provozovány v optimálním energetickém režimu. Tento režim lze vyladit např. optimalizovanou spotřebou jednotlivých elektrických spotřebičů, změnami v technologii, využíváním tepelné energie pomocí tepelných čerpadel na vytápění objektů či technologických procesů nebo zvýšení produkce bioplynu. [1]

Voda je nezbytným médiem pro získávání energie a naopak energie je nezbytná pro zajištění dosažitelnosti a kvality vody. Vzhledem k velmi úzkému vztahu mezi vodou a energií je zřejmé, že s obojím musí být zacházeno integrovaným způsobem a nelze se zaměřovat pouze na jednu část. Integrovaným přístupem je myšleno, že je třeba nahlížet na celý systém včetně zdrojů pitné vody, spotřebu a produkce energií, čištění odpadních vod a jejich opětovné využívání. Integrované systémy vyžadují spolupráci specialistů jednotlivých oborů, tudíž je potřeba více využívat interdisciplinární komunikace nejen vědců a inženýrů technických oborů, ale také ekonomů, politiků i sociálně zaměřených pracovníků. [1]

### **2.2 ENERGETICKÝ POTENCIÁL ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD**

Snížení nákladů za energii se v současné době stává hlavní prioritou pro provozovatele vodohospodářských a čistírenských infrastruktur. Pokles růstu ekonomiky, vzrůstající cena, spotřeba energie a stále přísnější nároky na kvalitu vyčištěné odpadní vody jsou jedny z hlavních faktorů vedoucích k tlaku na energetickou optimalizaci v oboru. Zatímco v zemích s nedostatkem vody je normální vyčištěnou odpadní vodu recyklovat a zároveň optimalizovat spotřebu energie s využitím alternativních zdrojů energie, u nás panuje poměrně konzervativní přístup. Odpadní voda obsahuje organické látky, anorganické látky, tepelnou a kinetickou energii, jejíž množství je zhruba 9x vyšší než je potřeba na její čištění. Ačkoliv odpadní voda obsahuje takové množství energie, tak ve valné většině

čistíren je nutno energii na vyčištění odpadní vody ještě dodat. Proto je potřeba provést na čistírně bilanci energetických vstupů a výstupů, což může v praxi znamenat schéma znázorněné na obr. 2. [1]



Obr.2: Schéma energetických vstupů a výstupů na ČOV [1]

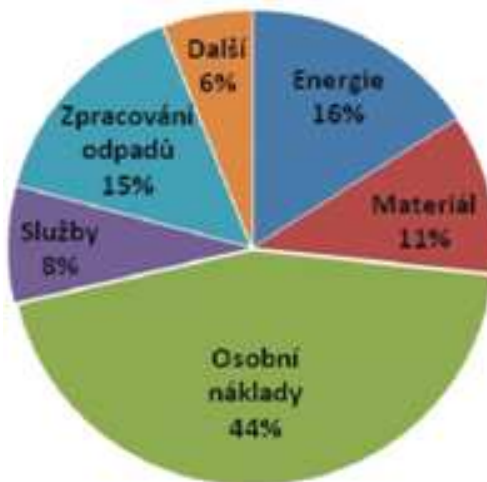
Na čistírnách dochází k mnoha procesům vzájemné konverze mezi jednotlivými typy energií a to jak při jejich tvorbě, tak při jejich spotřebě. Spolu s využitím údajů na obr. 3 a identifikací možných externích zdrojů lze potenciál energetických úspor na čistírnách definovat následujícími způsoby: [1]

- optimalizace přístrojového vybavení na čistírně,
- recyklace energie,
- získávání energie z biomasy,
- využití obnovitelné energie. [1]

Spotřeba energie patří mezi významné provozní náklady na čistírnách odpadních vod a tvoří cca. 15 - 30 % nákladů na větších čistírnách a 30 - 40 % na menších čistírnách.

Většina čistíren odpadních vod byla navržena především za účelem maximální účinnosti čištění a provozní náklady nebyly při návrzích čistíren příliš zohledňovány. V současné době se na čistírnách používají stále pokročilejší technologie, a to jak za účelem odstraňování „nových“ polutantů jako jsou např. endokrinní disruptory, tak i za

účelem recyklace vyčištěné odpadní vody. Tyto technologie (např. pokročilé oxidační procesy nebo membrány) mívají zpravidla vyšší energetické nároky, a proto je zde mnohem vyšší snaha optimalizovat energetický management na čistírnách. [1]



Obr.3: Průměrné provozní náklady na 98 čistírnách v Rakousku [1]

### 2.2.1 Hlavní cíle ekonomického čištění odpadních vod

Efektivní a ekonomický systém čištění odpadních vod by měl být proto v kontextu energetických úspor a udržitelného rozvoje založen na těchto hlavních cílech: [1]

#### **Minimalizace množství energie potřebné na čištění odpadních vod:**

- volba vhodného typu technologie
- výměna přístrojového vybavení
- volba předčištění [1]

#### **Zajištění energeticky soběstačného čištění odpadních vod:**

- produkce energie z kalů
- recyklace energie
- energie z obnovitelných zdrojů
- využití energeticky méně náročných technologií [1]

#### **Ochrana recipientu a životního prostředí:**

- snižování odtokových koncentrací polutantů
- zvyšování kvality kalů aplikovaných na půdu
- minimalizace množství vznikajících odpadů a ukládání na skládky
- odstraňování mikropolutantů [1]

### **Snižování celkové stopy zařízení (uhlíková stopa, zápach, zastavěná plocha, apod.):**

- čištění vzduchu, zachytávání aerosolů
- využívání vznikajícího CO<sub>2</sub>
- výběr technologie s menšími požadavky na zastavěnou plochu [1]

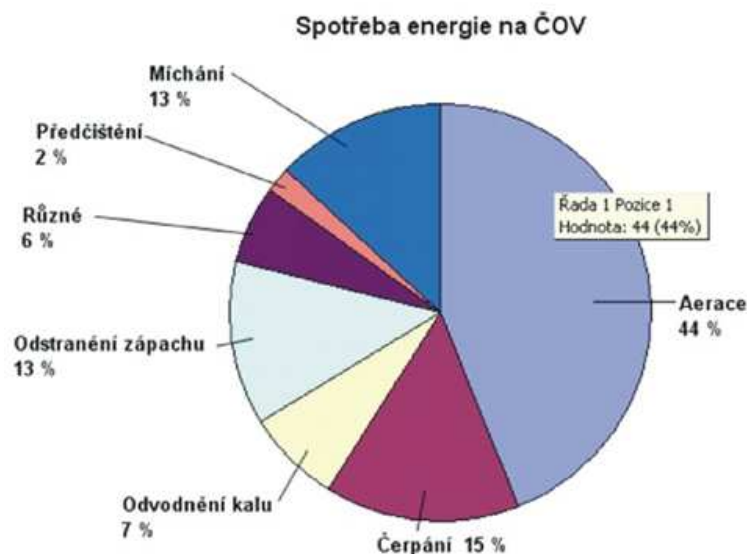
### **Umožňovat recyklaci energie, nutrientů, vody:**

- recyklace makronutrientů (hlavně fosforu)
- znovuvyužívání vody
- využívání dostupné energie nesené vodou [1]

Optimalizace přístrojového vybavení zpravidla vyžaduje provedení energetického auditu na čistírně odpadních vod. V mnoha provozech je měřena spotřeba elektrické energie, nicméně s daty se nepracuje a data se shromažďují pouze proto, aby byla. Data a jejich vyhodnocení, jsou nesmírně důležité pro kontrolu systému (spotřeba elektrické energie) a v předcházení mnoha havárií (např. pokud vidíme zvýšenou spotřebu, je něco v nepořádku a můžeme hledat příčinu). Po provedení energetického auditu následují zpravidla následující kroky: [1]

1) analýza výměny spotřebičů za spotřebiče se stejným výkonem, ale nižší spotřebou energie, kdy se soustředíme především na čerpací stanici a dodávku vzduchu, jak je vidět i na obr. 4. Řešením je pak nahrazení stávajících přístrojů nízkoenergetickými spotřebiči. [1]

2) optimalizace řízení procesu: opět se soustředíme především na čerpací stanici a dodávku vzduchu. S výhodou lze použít jednoduché modelovací systémy a na základě těchto dat upravit chod jednotlivých spotřebičů dle skutečné potřeby výkonu, například pomocí frekvenčních měničů, popřípadě výměnou zastaralých spotřebičů za spotřebiče s vyšší účinností. [1]



Obr.4: Průměrné rozdělení spotřeby energie na čistírně o velikosti 100 000 EO [1]

Z grafu je patrné, že největší důraz by měl být kladen na optimalizaci aerace.

### 2.2.2 Dosažení energetických úspor

Významných energetických úspor může být dosaženo výměnou aeračního systému, instalací senzorů a sond (např. kyslíkových sond) za účelem automatického řízení dodávky vzduchu nebo instalací dmychadel s frekvenčními měniči, nebo optimalizovaným automatizovaným systémem řízení dodávky vzduchu, případně i jiné úsporné strategie jako vypínání dodávky vzduchu při nízkém průtoku nebo zatížení na čistírně. Nicméně tyto provozní zákroky by měly být ošetřeny nejprve dynamickou počítačovou simulací ve specializovaném software, aby neuváženým zákrokem nedošlo ke skokovému zhoršení v kvalitě odtékající vyčištěné odpadní vody. [1]

Druhým místem, kde leží největší potenciál úspor, jsou čerpací stanice. Zde je ovšem potenciál úspor ve značné míře závislý na reliéfu krajiny a typu přítoku na čistírnu. Ačkoliv míchání není na prvních dvou místech energetické náročnosti procesů, i jej lze optimalizovat za účelem úspor. Nižší spotřebu než klasická míchadla mají hyperbolická nebo pulzní hrubobublinná míchadla. Mimo výše zmíněné inovativní technologie úspor u největších spotřebičů energie je nutné zanalyzovat i biologické procesy. [1]

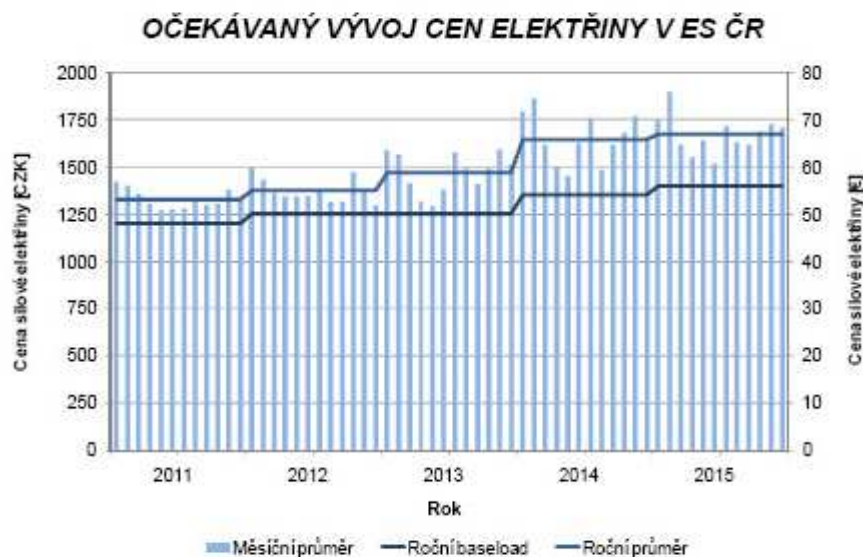
Potřeba odstraňování nutrientů vedla totiž k dalším energetickým nárokům zejména na aeraci. Tudíž se výhodně jeví některé novátorské technologie, např. deamonifikace prostřednictvím anaerobní oxidace amoniaku, tzv. proces Anammox. Proces potřebuje zhruba 25 % kyslíku v porovnání s klasickým biologickým odstraňováním dusíku

prostřednictvím nitrifikace a denitrifikace a zároveň jeho účinnost není závislá na přítomnosti organického uhlíku. Nicméně procesy typu Anammox vyžadují pro svoji správnou funkci specifickou biomasu a specifické provozní podmínky. [1]

Pravidelné provádění energetického auditu, benchmarkingu čistíren a navržení „energetických BATů“ jsou základní kroky, které by měly vést k energetickým úsporám vyplývajícím z optimalizace přístrojového vybavení na čistírnách odpadních vod. Byla provedena důkladná studie na evropských čistírnách která prokázala, že bez výrazných investičních nákladů lze tímto způsobem uspořit 10 – 15 % celkových nákladů na energii. Celkově lze říci, že v průměru lze dosáhnout úspor okolo 20 % oproti stávajícímu stavu, přirozeně s vyššími úsporami u větších čistíren. [1]

### 2.2.3 Matematické modelování energetické náročnosti ČOV

Při čištění odpadních vod představuje spotřeba elektrické energie významnou část celkových provozních nákladů. Běžně 50-60 %. Stále se zvyšující ceny energií a provozování energeticky nevýhodných uspořádání, ať už z hlediska použité technologie nebo techniky, napínají rozpočty ČOV. Proto jsou hledány cesty vedoucí k úspoře nákladů spojených se spotřebou elektrické energie. Jedním z možných způsobů jak postupovat, je využití matematického modelování. [2]



Obr.5: Graf rostoucí ceny elektrické energie v ČR [7]

Aerace představuje cca 40-60 % z celkové spotřeby elektrické energie ČOV, tudíž lze říci, že z pohledu spotřeby energie jsou největším spotřebičem na ČOV dmychadla. Jejich vhodným dimenzováním a zavedením kontrolérů a inteligentních řídicích systémů lze



výrazně snížit jejich spotřebu elektrické energie. Druhým největším konzumentem jsou mechanické operace, jako jsou čerpání, míchání a odvodňování. Snížení jejich energetické náročnosti lze dosáhnout pomocí správného stanovení výkonu čerpadel a míchadel pro provoz s optimální účinností v provozním rozsahu, použitím motorů s vysokou účinností a s využitím frekvenčních měničů. [2]

Celková energetická bilance ČOV může být vylepšena anaerobním zpracováním kalu s využitím bioplynu. Potenciál úspor na jednotlivých ČOV závisí na jejich velikosti. U menších ČOV (do 20 000 EO) bez anaerobního zpracování kalu se zaměřujeme na energetický audit jednotlivých spotřebičů, optimalizaci procesů provzdušňování a čerpání, popřípadě odvodnění kalu. Možnosti úspor těmito opatřeními je cca 20 %. [2]

U větších ČOV (nad 20 000 EO), kde je možnost využití bioplynu po anaerobním zpracování kalu, je potenciál úspor větší a to cca 30 % stávajících provozních nákladů. [2]

Matematické modelování je vhodným nástrojem pro určení energetické náročnosti celé technologie, jednotlivých technologických operací a možností, jak spotřebu elektrické energie snížit. Lze tak rychle a levně porovnávat systémy, ve kterých dojde k výměně spotřebičů, změně technologie nebo provozních parametrů a zavedení řídicích systémů. Namodelovaná data potom mohou tvořit základ případové studie přínosů jednotlivých změn na celkovou spotřebu energie a zároveň i na kvalitu vypouštěné vody. [2]

## **2.3 DOPADY STAVU STOKOVÉ SÍTĚ NA ENERGETICKOU NÁROČNOST ČOV**

V roce 2009 byla podle ČSÚ délka kanalizační sítě 39.767 km a na ní napojeno 81,3 % obyvatel. Celkem bylo vyčištěno 842.918 tis. m<sup>3</sup> vody a to 311.656 tis. m<sup>3</sup> splaškové, 161.102 tis. m<sup>3</sup> průmyslové a ostatní a 370.160 tis. m<sup>3</sup> srážkové včetně balastní. Stav stokových sítí v ČR je odborné veřejnosti znám a odhaduje se, že okolo 30 % délky se blíží k hranici životnosti, resp. se nacházejí za ní a 50 % stokových sítí nevyhovuje kritériím ČSN 75 6909 pro vodotěsnost stok. Pokud budeme předpokládat, že balastních vod je 10 %, tak v absolutních číslech se jedná o 85.000 tis. m<sup>3</sup> vody, kterou musíme převést přes ČOV. Dopadem jsou zvýšené náklady na energii a provoz čistírny odpadních vod v neoptimálních podmínkách. [5]

### 2.3.1 Spotřeba elektrické energie na ČOV

Spotřeba elektrické energie na ČOV závisí na její velikosti (množství přiváděných vod), množství znečištění, typu použité technologie a konfiguraci terénu. Pro hrubé ekonomické odhady je možné použít níže uvedenou tabulku spotřeb elektrické energie (tab. 1). [5]

Tab.1: Roční spotřeba elektrické energie na ČOV v závislosti na počtu připojených EO [5]

Velikost ČOV	Roční spotřeba elektrické energie	
[EO]	[kWh/rok]	[kWh/EO/rok]
7.000	270.000 až 350.000	38 – 50
18.000	550.000 až 900.000	30 – 50
25.000	1.000.000 až 1.250.000	40 – 50
40.000	1.100.000 až 1.500.000	28 – 38
360.000	11.700.000 až 14.000.000	32 – 39

Z tabulky je možné odvodit spotřebu elektrické energie na EO, a ta se pohybuje v rozmezí 30 - 50 kWh/EO/rok, kde vyšší hodnota představuje spotřebu před rekonstrukcí a nižší po energetické optimalizaci prováděné v rámci rekonstrukce ČOV. [5]

### 2.3.2 Poruchy na stokové síti a infiltrace

Při auditech ČOV prováděných v ČR a SR v roce 2009 až 2010 vyplynulo, že čistírny odpadních vod, které jsou napojené na stokové sítě s infiltrací 70 až 100 %. Příčinou infiltrace je špatný technický stav, který je zapříčiněn poruchami. Příčiny poruch stokových sítí je možné rozdělit do několika skupin:

- přirozené stárnutí materiálu,
- změna vlastností transportovaných médií,
- použití nekvalitního stavebního materiálu,
- špatná kvalita práce,
- vnější vlivy. [5]

### 2.3.3 Postupy zjišťování infiltrace a nepovolených připojení

Postupy zjišťování infiltrace a nepovolených napojení jsou následující (ne všechny jsou používány v ČR):

- Zkouška kouřem: metoda zahrnuje čerpání kouře do stokové sítě, sledování, dokumentování a vyhodnocování, kde kouř vychází. V závislosti na konkrétních okolnostech může vystupující kouř označit místa prasklého potrubí, šachty nebo tam, kde je napojen svod střechy na kanalizační systém. Kouřem můžeme identifikovat trhliny v chodníku nad kanalizací nebo napojení nemovitosti na kanalizaci. Za určitých podmínek můžeme pomocí kouře objevit v suterénech přímé napojení na stokovou síť. Kouř vyrobený pro tento účel nezanechává žádné zbytky ani skvrny a nemá žádný vliv na životní prostředí. Kouř má výrazný, ale ne nepříjemný zápach. Viditelnost a zápach trvá jen několik minut tam, kde je dostatečné větrání.
- Vyhodnocení infiltrace prostřednictvím záznamu televizní inspekce. Vyhodnocením záznamu je možné zjistit úseky, do kterých prosakuje nebo přitéká voda přes netěsnosti, popř. je zvýšené riziko infiltrace (prorůstající kořeny, netěsné spoje atd.). Odborným odhadem je možné stanovit množství infiltrace.
- Inspekce šachet je známý a relativně levný a rychlý způsob zjišťování infiltrace a přítoků ve stokových sítích. Současně také získáváme základní informace o stavebně-technickém stavu stokové sítě a o správnosti technické dokumentace.
- Monitoring průtoků: Pro potřeby kalibrace hydraulických modelů se provádí na stokové síti měření průtoků. Měření je možné použít pro identifikaci infiltrace popř. nežádoucích přítoků. [5]

### 2.3.4 Metodika měření infiltrace

Analýza infiltrace a nežádoucích přítoků do stokové sítě se provádí k prokázání existence nebo neexistence nadměrného množství balastních vod. Prostřednictvím systematického zkoumání stokové sítě a rozbořem určíme druhy protékající odpadní vody, místa infiltrace a exfiltrace a nepovolená napojení.

Systematický průzkum by měl obsahovat následující: popis kanalizačního systému, odhady množství komunálních a průmyslových odpadních vod, přítoky od významných znečišťovatelů, hladinu podzemní vody v zájmové oblasti, kontinuální sledování průtoků, určení míst infiltrace a nepovolených přítoků a doporučení pro další šetření, pokud je to vhodné.

Jestliže analýza infiltrace a nepovolených přítoků ukazuje na existenci či případnou existenci nadměrného množství balastních vod, musí být do analýzy zahrnut průzkum

kanalizace s plánem hodnocení kanalizace. Plán nastíní úkoly, které mají být provedeny v průzkumu a jejich odhadované náklady.

Data pro průtokovou analýzu stokové sítě jsou získávány z kontinuálního sledování a dalších doplňujících údajů, aby se kategorizovaly odpadní vody, infiltrace/exfiltrace a nepovolená napojení. Tato analýza vyžaduje technické posouzení a zvážení sezónních vlivů na sběr dat.

Chceme-li zjistit infiltraci, je potřebné ověřit průtoky ve stokové síti průtokoměry. Pro měření se určuje bezdeštné období (zpravidla alespoň tři až pět dnů). Pro vybrané bezdeštné období se analyzují noční minimální průtoky (mezi druhou až pátou hodinou ránní). Noční minimální průtok představuje období minimálního průtoku splaškových vod. Naměřené hodnoty průtoků představují s velkou pravděpodobností průtoky zapříčiněné infiltrací. Část nočního minimálního průtoku může být také zapříčiněn přítokem splaškových vod z průmyslových a dalších objektů s noční směnou a v malé míře i z domácností.

Nejvyšší úroveň hladina podzemní vody dosahuje obvykle na začátku jara po tání sněhu. V tomto období bývají minimální noční průtoky na své nejvyšší úrovni. Nejnížší úroveň hladina podzemní vody dosahuje obvykle v pozdním létě. V tomto období bývají minimální noční průtoky na své nejnižší úrovni.

Průměrnou roční infiltraci je možné vypočítat přímo pomocí analýzy naměřených dat z průtoků za celý rok. Nicméně pokud jsou k dispozici měření nočních průtoků jen za část roku, můžeme odhadnout průměrnou roční infiltraci jako vážený průměr za období s maximální infiltrací a za období s minimální infiltrací. [5]

#### **Dopady stavu stokové sítě na ČOV jsou následující:**

- Zvyšuje se spotřeba energie na čerpání a čištění balastní vody.
- ČOV nejede v optimálním provozu.
- Dochází k velkému naředění odpadních vod.
- Při velkém přítoku balastních vod dochází k hydraulickému přetížení ČOV.

V případech velké infiltrace na poměrně malé části stokové sítě lze ekonomicky prokázat potřebu opravy nebo renovace dané části stoky z prostředků ušetřených za sníženou spotřebu energií na ČOV. Základem všech ekonomických rozborů je provedení komplexního technicko-ekonomického auditu kanalizační sítě a vyhodnocení dopadu infiltrace na provoz stokové sítě a ČOV. [5]

## **2.4 ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY A ENERGETICKÉ ÚČINNOSTI ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD PROSTŘEDNICTVÍM ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ**

V době nedostačujících financí nabývá stále více na významu inteligentní a energeticko-efektivní procesní přístup na čistírnách odpadních vod, aby splňoval trvale rostoucí ekologické požadavky. Hledají se řešení, která zajistí nejvyšší možnou energetickou efektivnost a čistící účinnost ČOV, ale nepředstavující žádnou, popř. minimální finanční zátěž pro vlastníka ČOV. [6]

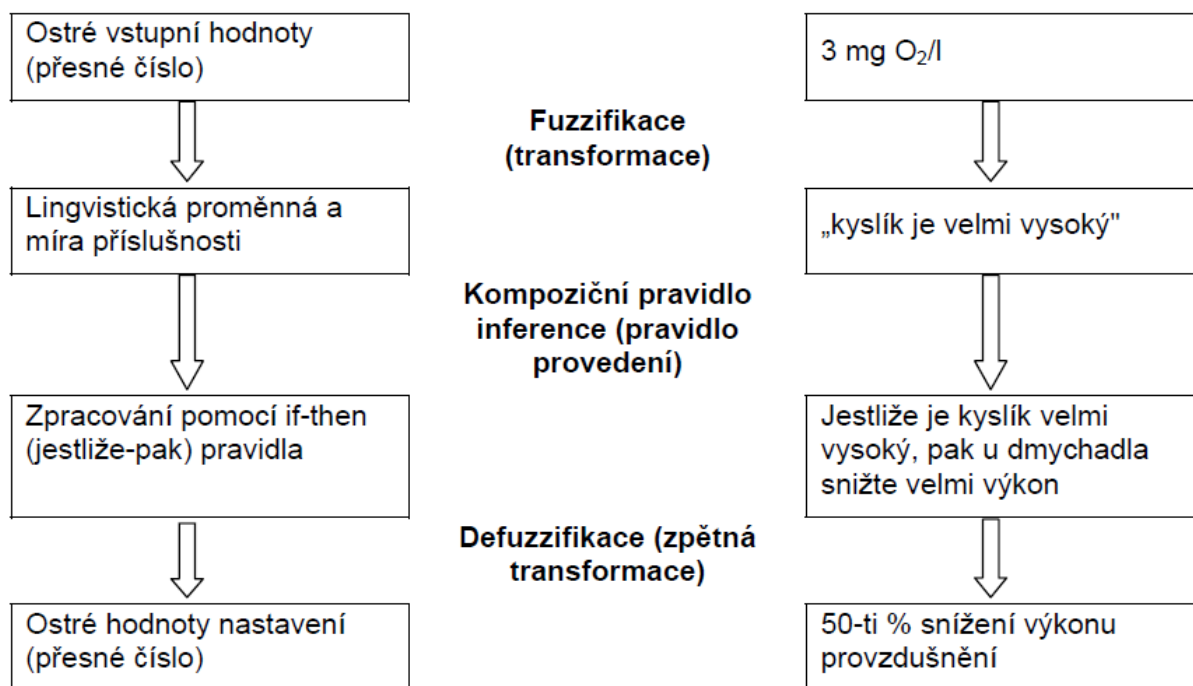
### **2.4.1 Řídicí systémy pro ČOV - AQUALOGIC® a ENERLOGIC® založené na principu Fuzzy-Logic od firmy Passavant-Intech**

Firma Passavant-Intech GmbH dodává už přes 12 let přesně toto řešení ve formě návrhu postupů upravených podle přání zákazníka. K prosazení tohoto konceptu nasazuje Passavant-Intech zejména produkty, které umožňují vysoce efektivní provoz čistíren odpadních vod. Jedná se o:

- Regulační systém (pro provoz závislý na zatížení): AQUALOGIC®  
ENERLOGIC®
- Různé jemnobublinné provzdušňovací zařízení:
  - provzdušňovací desky Ecoflex®,
  - talířové provzdušňovací elementy Roeflex®,
  - provzdušňovací potrubí Bioflex®.
- Rozsáhlé optimalizační pakety pro biologický čistící stupeň čistírny odpadních vod.

V dalším textu bude blíže popsán způsob fungování regulačního systému, se kterým se optimalizuje provoz na více než 300 čistírnách odpadních vod. Cílem regulačního systému AQUALOGIC® je přerušovaný, na zatížení závislý provoz biologického stupně čistírny odpadních vod s maximální účinností procesu při současné minimalizaci spotřeby energie. Patentovaný regulační systém optimálně řídí s využitím metody Fuzzy-Logic složité procesy biologického čištění odpadních vod a dává nejlepší výsledky.

Fuzzy-Logic pracuje s konceptem neostrosti/neurčitosti a je vhodný zejména tehdy, když bude porovnávat více komplexních procesů společně a tyto mají být přeměněny v přesné regulované veličiny. Názorně se to dá představit na příkladu řízení podle koncentrace kyslíku v aktivační nádrži (viz obr. 6). [6]



Obr.6: Reakce na naměřenou hodnotu kyslíku pomocí Fuzzy-Logic [6]

Nejdříve dostane regulační zařízení přesné vstupní veličiny ve formě měřené koncentrace kyslíku např. 3 mg O<sub>2</sub>/l. Tato přesně naměřená hodnota bude přeměněná díky tzv. fuzzifikaci (transformaci) v lingvistickou proměnnou, např. „kyslík je příliš vysoký“. V následující interferenci je zpracována lingvistická proměnná prostřednictvím pravidla „jestliže-pak“. Lingvistická proměnná „kyslík je příliš vysoký“ vede tedy k zpracování pravidla „jestliže kyslík je velmi vysoký“, pak u dmychadla snižte velmi výkon. Tento předpis bude závěrem defuzzifikace a bude dán přesně povel ve formě 50-ti % snížení výkonu provzdušnění. [6]

Komplexní bude řízení a převod měřených veličin, které se mohou vzájemně ovlivňovat. Aby byl například odbourán uhlík, musí proběhnout provzdušňování. Prostřednictvím provzdušňování je zároveň přeměněn amoniak v dusičnany, které jsou v následné neprovzdušňované fázi odbourány. Bude-li provzdušňování příliš velké, zvýší se prudce dusičnany - bude-li provzdušňování příliš malé, bude příliš málo amoniaku přeměněno na dusičnany. Vzájemným porovnáním různých parametrů zohledněných pomocí Fuzzy-Logic budou všechny naměřené hodnoty a jejich pořadí vyhodnoceny a bude dána optimální hodnota nastavení pro jednotlivé agregáty na ČOV. Pro představu, co je potřebné brát v úvahu, na obr. 7 se uvádí stručný přehled různých závislostí na čistírně odpadních vod, které se mohou vzájemně ovlivnit. [6]

<b>Odbourat uhlík</b>	►	<b>provzdušnit</b>
<b>Odbourat amoniak</b>	►	<b>provzdušnit</b>
<b>Odbourat dusičnany</b>	►	<b>neprovzdušnit</b>
<b>Hodně provzdušněno</b>	►	<b>hodně dusičnanu</b>
<b>Mnoho dusičnanu</b>	►	<b>brání biolog. eliminaci fosforu</b>
<b>Málo provzdušněno</b>	►	<b>hodně amoniaku</b>
<b>Málo provzdušněno</b>	►	<b>event. špatné vlastnosti kalu</b>
<b>Hodně provzdušněno</b>	►	<b>mnoho energie</b>

Obr.7: Příkazy při regulaci čistírny odpadních vod [6]

Fuzzy-Logic reakce/změny na čistírně odpadních vod se realizují přes AQUALOGIC®- resp. ENERLOGIC®-regulátor, který je nainstalován na samostatném počítači resp. na stávajícím procesním řídicím počítači. Oba ovladače jsou ovládány jako samostatné programy např. pomocí Microsoft-Excel®. Vazba mezi regulačním systémem a SPS nebo řídicím systémem se uskutečňuje přes DDE- případně OPC-rozhraní. Přes toto rozhraní jsou vyměňovány naměřené hodnoty a nastavovací hodnoty mezi různými jednotkami. [6]

Pomocí AQUALOGIC® a ENERLOGIC® lze ovládat v podstatě všechny agregáty a procesy v čistírně odpadních vod. Zvláště efektivní je požadavek na řízení provzdušňovacího agregátu/dmychadla, které je obvykle největším spotřebitelem energie na čistírně odpadních vod. Prostřednictvím cílené regulace (závislé na zatížení) neprovzdušňované a provzdušňované fáze a v závislosti na různých naměřených hodnotách je dodáváno přesně tolik kyslíku do aktivací nádrže, kolik je potřebné pro čištění. Zamezí se tak stavu s nadměrnou koncentrací kyslíku, tudíž nepotřebné spotřebě energie, ale současně řídicí systém pozná i zvýšené zatížení a případně provzdušní déle, než normálně. Mimo požadovaného provzdušnění může Fuzzy-Logic-regulační systému také ovládat jiné obvody řízení čistírny odpadních vod. Tak může, např. prostřednictvím regulace dávkování srážedla, uhlíku a dávkování procesní vody, recirkulace, vratného kalu a stárí kalu zvýšit procesní efektivnost. Kromě toho můžeme ušetřit energii (např. pomocí snížení doby čerpání) a chemikálie. [6]

ENERLOGIC® představuje další vývoj popsaného řídicího systému AQUALOGIC®. Cílem ENERLOGIC® je maximální úspora energie při zachování vysoké stability procesu. Vedle různých energeticky úsporných opatření, jako je účinnější řízení dmychadla, představuje stárí kalu resp. předepsané hodnoty obsahu sušiny největší úsporný potenciál.

Oba parametry jsou řízeny tak, že je zajištěn efektivní provoz zařízení za optimálních podmínek. Prostřednictvím dynamizace stárí kalu během celého ročního cyklu se může redukovat potřebná energie pro provzdušnění a zvýšit obsah energie přebytečného kalu. Přitom se vychází z toho, že při poklesu obsahu sušiny o 1 g/l bude snížena potřebná energie pro provzdušňování o 10 %. [6]

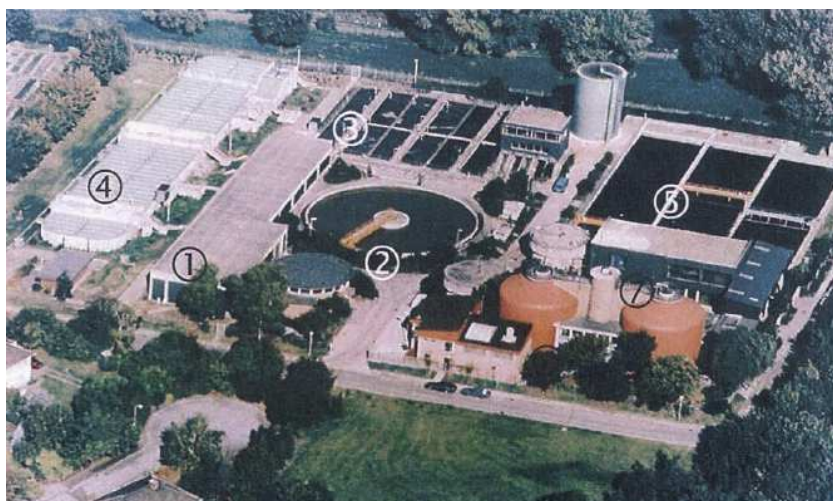
**Shrnutí:** Všechny zde popsané technické možnosti vedou k vzestupu efektivnosti a k finančním úsporám na čistírně odpadních vod. Na jedné komunální čistírně odpadních vod v Německu s 80.000 EO mohl být redukován např. *N* celkový na výtok o 42 % a *P* celkový na výtok o 29 %. Skrze optimalizované nastavení dmyhadla a dalších agregátů (např. snížení recirkulace o 18 %) mohla být celková spotřeba energie čistírny redukována o 11 %, což odpovídá roční úspoře asi 80.000 € nákladů na elekt. proud. [6]

## 2.4.2 Konkrétní příklad využití systému Fuzzy-Logic

### Popis čistírny odpadních vod Rodderweg (Spolková republika Německo):

ČOV Rodderweg, provozována firmou vlastněnou městem Wesseling, byla vystavěna v 60. letech. Postupem času byla zvětšována a modernizována, aby splnila předepsané limity. Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV s anaerobní stabilizací a kapacitou 40.000 EO (obr. 8). Z hlediska prostoru je čistírna omezena a není možné další rozšiřování. [9]

Provozovatel ČOV Rodderweg se rozhodl mezi různými metodami modernizace, které měly zvýšit účinnost ČOV a současně snížit energetickou náročnost. Důvodem pro to byla vysoká zatíženost, potřeba dalších rezerv pro budoucí provozní roky a zvyšování ceny energie. Po detailní analýze trhu se provozovatel rozhodl pro řídicí systém Aqualogic, který byl vyznamenan bavorskou cenou pro životní prostředí. [9]



Obr.8: Letecký snímek ČOV Rodderweg/SRN [9]



### Popis obrázku č. 8.

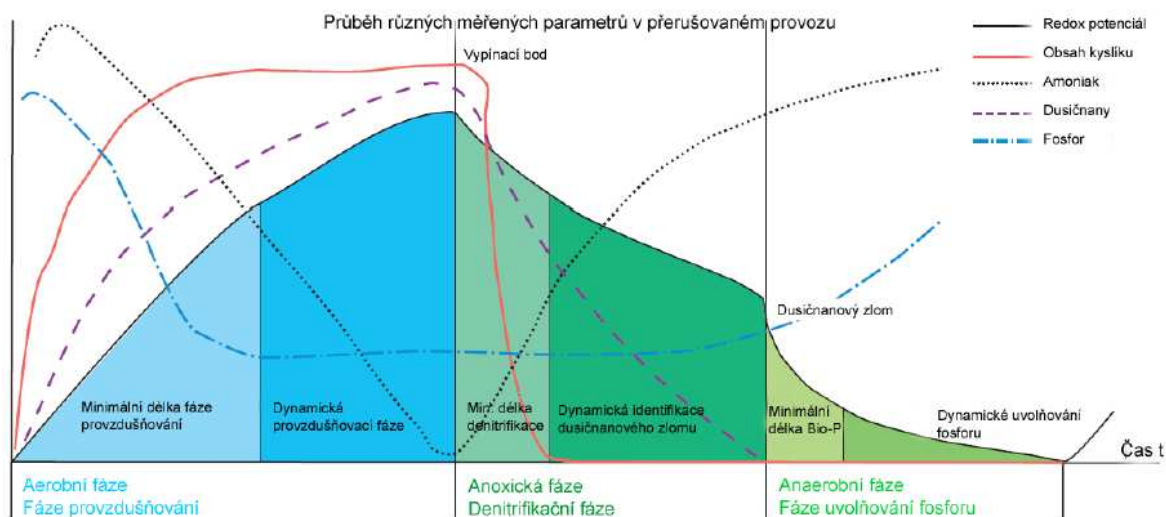
1 – mechanické předčištění, 2 – usazovací nádrž, 3 – aktivační nádrž č.1, 4 – aktivační nádrž č.2 (zakrytá), 5 – dosazovací nádrž, 6 – vyhnívání, 7 – odvodnění kalu

### Opatření a výsledky:

V prvním kroku experti firmy Passavant Intech GmbH analyzovali stávající použitou technologii a zpracovali provozovateli a majiteli ČOV bezplatně doporučení na zvýšení účinnosti ČOV.

Výsledkem šetření bylo, že pro řízení systémem Aqualogic je dostačující stávající vybavení a to: dvě v řadě zapojené aktivační nádrže, systém provzdušňování (nádrž č. 1 – tlakovým vzduchem, nádrž č. 2 – povrchová aerace) a měřící sondy (v každé nádrži tři kyslíkové sondy s měřením teploty a dále sondy pro amoniak a dusičnany). [9]

Pro řízení byl instalován počítač a s ním komunikující programovatelná paměť (SPS). Signály vedené od sond jsou přiváděny do počítače přes SPS a tam prostřednictvím patentovaného fuzzy-logic řízení zpracovávané a vyhodnocované. Podle stavu zatížení aktivace jsou předávány vypočítané nastavovací signály prostřednictvím SPS k provzdušňovacím agregátům. Konečným výsledkem jsou různé časové intervaly pro fáze aerobní a anaerobní (obr. 9). [9]



Obr.9: Průběh různých měřených parametrů v přerušovaném provozu [9]

### Snížení koncentrace znečištění na odtoku:

Porovnání hodnot na výstupu z ČOV před instalací řídicího systému založeného na Fuzzy-Logic technologii s hodnotami po instalaci potvrzuje posudek expertů. Hodnoty na výstupu poklesly u sledovaných parametrů o 10 až 25 % (tab. 2). [9]

**Tab.2: Průměrné koncentrace na výtoku před a po modernizaci na ČOV Rodderweg [9]**

	CHSK	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>anorg</sub>	P <sub>celk</sub>
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Koncentrace na výtoku v období únor-prosinec 2006 (před modernizací)	19,74	0,15	6,80	6,99	0,97
Koncentrace na výtoku v období únor-prosinec 2007 (po modernizaci systémem řízení AQUALOGIC)	20,04	0,18	5,13	5,46	0,88
Změna (%)	1,5	20	-24,6	-21,9	-9,2

### **Snížení spotřeby energie o cca 30 %**

Prostřednictvím řídicího systému byla redukována doba chodu dmychadel a povrchových aerátorů. Výsledky úspory energie a nákladů jsou prezentovány v tabulce č. 3. [9]

**Tab.3: Celkově ušetřené náklady na energii v období únor až prosinec 2006 – 2007 [9]**

	Únor – prosinec 2006 (před modernizací)	Únor – prosinec 2007 (po modernizaci systémem AQUALOGIC)	změna
Spotřeba energie – provzdušňovací agregáty	1400572 (kWh)	964035 (kWh)	-31,2%
Náklady na energii - provzdušňovací agregáty	234316 (EUR)	181283(EUR)	-31,2%

Cena energie včetně všech příplatků je pro ČOV Rodderweg 16,73 centů/kWh. Nasazením řídicího systému byla redukována spotřeba energie o více jak 30 % a celková roční úspora činí skoro 80 tisíc euro. [9]

### **Závěr:**

Řídicí systém Aqualogic založený na Fuzzy-Logic technologii nabízí velkou přednost v tom, že všechny vstupující informace mohou být současně vyhodnocovány. Tím dochází k cíleně řízenému vnosu kyslíku, k významné redukci spotřeby energie a k optimálnímu odbourávání dusíku. Mimo to představují řídicí systémy založené na vědeckých poznatcích častokrát zajímavou alternativu oproti nákladným výstavbám.

V případě ČOV Rodderweg se náklady na modernizaci amortizovaly za jeden rok. Vedle toho také budou v budoucnosti ušetřené náklady na energii k dispozici provozovateli

a provozovatel bude platit menší sazbu za vypouštění odpadních vod s nižší koncentrací znečištění.

V případě, že vlastník ČOV nemá v běžném rozpočtu vyčleněny finance na modernizaci, může začít okamžitě s úsporou energie vhodným obchodním modelem a tím prakticky okamžitě snížit spotřebu energie pro obec. [9]

### 2.4.3 Řídicí systémy pro ČOV – HACH LANGE - RTC (W.T.O.S.)

Snižování nákladů a dodržování stále přísnějších limitů - dokonce i v případě náhlých zatížení ve špičkách: s moduly RTC (W.T.O.S.) pro optimalizaci procesu (Water Treatment Optimisation Solutions - řešení pro optimalizaci čistění odpadních vod), mohou být tyto požadavky pro moderní řízení čistíren odpadních vod splněny. Bez stavebních úprav a větších investic poskytuje systém RTC stabilnější provoz, spolehlivé dodržení limitních hodnot, nízké náklady a zlepšení spolehlivosti provozu. [22]

**HACH LANGE dosáhne stabilní hodnoty na odtoku:** se systémem RTC (W.T.O.S.) přináší společnost HACH LANGE nové standardy do spolehlivosti procesu, jelikož RTC (W.T.O.S.) znamená měření a dopředné nebo zpětnovazebné řízení z jednoho zdroje. Řízení pomocí standardních modulů pro odstraňování fosforečnanů, dusíku a řízení kalového hospodářství je optimalizováno bez rizika. [22]

**Systém RTC (W.T.O.S.) pracuje v reálném čase a provádí přesná měření:** na rozdíl od metod řízení závislých na čase nebo objemu, moduly RTC (W.T.O.S.) řídí podle zatížení a pracují v reálném čase. Proto se provzdušňuje nebo měří jen taková část, která je potřebná pro dosažení požadované hodnoty. [22]

**Vysoká provozní spolehlivost díky chytrým podrobným řešením:** systém HACH LANGE PROGNOSYS analyzuje naměřené hodnoty a díky tomu je RTC (W.T.O.S.) spolehlivější: jsou-li hodnoty nesprávné nebo nejsou-li vůbec dostupné, RTC (W.T.O.S.) automaticky použije alternativní strategie řízení. To spolu s jednoduchou obsluhou a vysokou transparentností umožňuje maximální provozní spolehlivost a bezpečné dodržení všech hodnot na odtoku. [22]

**Systém RTC (W.T.O.S.) zajistí úspory energie:** maximální účinnost díky zpětnovazebnému řízení v závislosti na zatížení: čistírny odpadních vod musí nejen čistit odpadní vodu, ale také pracovat účinně bez stále se zvyšujících nákladů. Systém RTC (W.T.O.S.) k tomu přispívá různými způsoby. Úspory vznikají už při instalaci, která je snadná a systém je možno integrovat během jednoho dne. Systém RTC (W.T.O.S.) řídí

nejen pomocí času a objemu, ale také v závislosti na zatížení, které je založeno na ověřených naměřených hodnotách. Požadované hodnoty jsou spolehlivě dodrženy bez plýtvání energií, srážedly nebo polymery. [22]



Obr.10: Místa možné úspory elektrické energie pro moduly HACH LANGE [22]

Standardizované moduly RTC (W.T.O.S.) optimalizují provoz čistíren odpadních vod všech velikostí a mohou být sestaveny dle individuálních požadavků. Jejich standardní rozhraní umožňuje snadnou integraci do stávajících systémů. Uvedení do provozu je jednoduché a rychlé. Tím je zaručeno spolehlivé zavedení celého projektu. [22]

#### 2.4.4 Konkrétní příklad využití systému HACH-LANGE

##### Popis čistírny odpadních vod Bardejov (Slovenská republika):

Čistírna odpadních vod Bardejov je mechanicko-biologická a slouží pro čištění komunálních odpadních vod přiváděných z aglomerace města Bardejov. Původní ČOV Bardejov byla postavena v roce 1983. V posledních letech byla ČOV hydraulicky a látkově přetížená, stavební stav objektů na ČOV byl nevyhovující a objemy objektů byly nedostatečné pro současnou požadovanou úroveň čištění. V rámci rekonstrukce ČOV byla přepracována celá původní koncepce čištění odpadních vod. Na základě zkušeností se při rekonstrukci kladl důraz na nízké teploty a nízký podíl organického substrátu. [23]

### **Řídicí systém:**

Řídicí systém prostřednictvím PLC a programovatelných automatů vytváří základ pro řízení procesů. Vždy koná jako „master“ v řízení čistírny odpadních vod a zabezpečuje její autonomní provoz a řízení v jakékoliv situaci. Systém používá klasický způsob řízení založený na pevně nastavených nebo manuálně upravených kontrolních proměnných. [23]

S cílem, aby se optimalizovaly procesy přerušované aerace a dávkování externího substrátu byl řídicí systém rozšířen o systém W.T.O.S. Tento systém se skládá z jednotlivých RTC modulů. RTC koná jako sekundární optimalizační systém, který vlastnímu řídicímu systému ČOV poskytuje doporučený stavový signál (nitrifikace nebo denitrifikace), a nebo žádnou hodnotu.

Na ČOV Bardejov jsou pro každou z obou linek instalovány moduly:

- Modul v reálném čase pro přerušovanou aeraci (N/DN-RTC)  
Cílem N/DN-RTC je nastavit čas potřebný pro nitrifikaci a denitrifikaci podle zatížení.  
N/DN-RTC je vybavený i modulem pro nastavení potřebné koncentrace rozpuštěného kyslíku  $O_2$  v aktivační nádrži.
- Denitrifikační/recirkulační modul (DN-RTC), který obsahuje C-RTC  
Cílem C-RTC je podpora procesu denitrifikace dávkováním zdroje externího uhlíku C podle aktuální denitrifikační kapacity v anoxických fázích. [23]

### **Dosažené výsledky:**

Systém optimalizace řízení kontinuálně udržuje sledované parametry ve stanoveném rozsahu. Na základě online měřených parametrů  $NH_4-N$  a  $NO_3-N$  doporučuje změnu stavu aerace/denitrifikace a žádanou hodnotu kyslíku. Změna fáze aerace a denitrifikace se uskutečňuje na základě odchylky parametrů od žádaných hodnot. Při fázi aerace systém doporučuje žádanou hodnotu koncentrace kyslíku tak, aby se v nastaveném časovém rozsahu NITRImax byla zabezpečena nitrifikace amoniakálního dusíku přítomného v aktivaci na žádané hodnotě. Tím, že systém nastavuje vhodné podmínky pro nitrifikaci, předchází tomu, aby se z důvodu nedostatečné nitrifikace začal amoniakální dusík akumulovat v systému. V případě, že obě koncentrace  $NH_4-N$  a  $NO_3-N$  jsou velmi nízké, tak RTC v zájmu šetření energie na provzdušňování preferuje použití denitrifikace, avšak zachovává minimální dobu trvání aerace NITRImin. Výsledkem je, že koncentrace  $NH_4-N$  osciluje okolo žádané hodnoty. [23]

Čistírna odpadních vod Bardejov je v současnosti několik měsíců ve zkušebním provozu. W.T.O.S. je v testovacím provozu od května a v plném provozu od června 2013. Pro vyhodnocení spotřeby elektrické energie s aplikací RTC modulů se mohlo využít jen

krátké období v měsících leden až květen s klasickým řízením a v období květen až červenec s použitím W.T.O.S. Podle krátkodobých výsledků měl W.T.O.S. vliv na snížení spotřeby elektrické energie o 1000 až 3000 kWh/měsíc. [23]

Další úsporou jsou úspory organického substrátu. Projekt předpokládal průměrnou spotřebu organického substrátu 376 l/den a maximální spotřebu 1541 l/den. N/DN-RTC efektivně nakládá s organickým znečištěním přítomným v odpadní vodě. C-RTC doporučuje žádanou dávku organického substrátu jen nárazově 1 až 2 krát za týden a také v krátkém časovém intervalu 1 až 2 hodiny během celého dne. C-RTC převážně reaguje na nárazové znečištění. Do dnešních dní je průměrná spotřeba organického substrátu 91 l/den, což je oproti předpokladu až 75% úspora. [23]

### **Závěr:**

Optimalizace řízení v reálném čase je nástroj k zlepšení parametrů díky tomu, že automatizovaný systém řízení je schopný rozlišovat a reagovat i v podmínkách kdy obsluha z kapacitních důvodů nestihne reagovat, a nebo je to nad její rozlišovací a vyhodnocovací schopnost. Díky reakcím systému RTC v reálném čase se v porovnání s ručním řízením zlepšily a ustálily parametry na odtoku z ČOV a dosáhly se provozní úspory elektrické energie a organického substrátu. [23]

## **2.5 RECYKLACE ENERGIE NA ČOV**

V současné době existují v některých zemích (např. Švýcarsko, Německo, Norsko) již aplikace na recyklaci energie. Podle německé směrnice DWA M 114 může být v Německu, cca. 10 % budov vytápěno pomocí energie z odpadní vody. Zařízení na recyklaci tepelné energie sestávají ze dvou částí: tepelný výměník a tepelné čerpadlo. Výměník se umísťuje přímo do kanalizace a získává energii (teplo) z ní. Obecně lze identifikovat tři místa na kanalizaci, kde lze recyklaci tepla provádět. [1]

**1) Recyklace tepla v přívodní kanalizaci před čistírnou:** výhodou je, že spotřebitelé tepelné energie budou blízko odběrovým místům. Nicméně snížení teploty odpadní vody může mít negativní vliv na účinnost čištění odpadních vod na čistírnách. Nevýhodou je rovněž výrazné kolísání v objemech přiváděné odpadní vody, čímž může být ovlivněna efektivita přenosu tepla. Umístění tepelných výměníků může rovněž komplikovat rutinní údržbu v kanalizacích (vysokotlaké čištění, inspekce, apod.), což vede k alternativnímu přístupu umísťování tepelných výměníků na obtocích a ne v hlavním přívodním potrubí. [1]

**2) Recyklace tepla na odtoku z čistíren odpadních vod:** výhodou bezesporu je, že snížením teploty odpadní vody není dotčena účinnost čištění odpadních vod. Další výhodou rovněž je, že přítok vyčištěné odpadní vody je téměř konstantní. Nevýhodou je, že potenciální spotřebitelé tepla nejsou zpravidla v okolí odběrových míst. [1]

**3) Recyklace tepla uvnitř budov:** teplota odpadní vody je poměrně vysoká a výhodou je, že spotřebitelé tepla jsou zpravidla poblíž. Nevýhodou je malý a kolísavý přítok odpadní vody. Nicméně lze s úspěchem využít kombinaci tohoto přístupu s prvně jmenovaným a teplo odebírat na přírodní kanalizaci v městské zástavbě. [1]

V zahraničí jsou oblíbené systémy HVAC (z anglického Heat, Ventilation and Air Conditioning system, tj. systém vytápění, ventilace a klimatizace), které využívají odpadní teplo z kanálů pro zahřívání budov v zimě a jejich chlazení v létě. Systém může být aplikován nejen v obytných nebo kancelářských budovách, ale i ve školách, nemocnicích nebo krytých bazénech. Nicméně je třeba podotknout, že smysluplná a účinná recyklace tepla nelze být provedena ve všech případech. [1]

#### **Musí být splněny následující předpoklady:**

- minimální bezdeštný přítok 15 l/s (tj. aplikovatelné cca. od 5 000 – 10 000 EO)
- tepelný potenciál v přitékající odpadní vodě (průměrná teplota v zimě by neměla poklesnout pod 10 °C)
- přítomnost spotřebitelů tepla poblíž odběrových míst
- konkurenční zdroje energie, např. vytápění
- neovlivnění funkce přírodní kanalizace a čistírny odpadních vod [1]

Poslední bod je velice důležitý, protože účelem kanalizačních systémů má být především ochrana životního prostředí. Výrazným snížením teploty vyčištěné odtékající vody z čistírny můžeme negativně ovlivnit ekosystémy v recipientu. Stejně bakterie odpovědné za biologické odstraňování nutrientů (zejména dusíku) jsou extrémně citlivé na nižší teploty, kdy se jejich aktivita zpomaluje a bezprostředně tím ohrožuje potřebnou účinnost odstranění dusíkatého znečištění. Z tohoto pohledu je nutné, aby aplikace tepelných výměníků vedla vedle energetických úspor i ke stejné efektivitě čištění odpadních vod. [1]

Potenciální energie vznikající gravitační silou padající nebo proudící odpadní vody může vyrábět energii pomocí turbín. Množství vyrobené energie závisí jak na objemu vody, tak na příp. rozdílu nadmořských výšek. Ačkoliv tento způsob výroby energie je velice spolehlivý a ekologický (neprodukuje žádné skleníkové plyny), tak jeho aplikace je

velice omezená, protože potřebný průtok je na čistírnách pouze řádově ve stovkách tisíc ekvivalentních obyvatel a větších. Zároveň je v České republice minimum čistíren, kde by šlo využít energie padající odpadní vody, ať už znečištěné nebo vyčištěné. Aplikace na využití potenciální energie se soustřeďují výhradně na místech odtoku vyčištěné odpadní vody z čistírny. Podle DWA M 114 jsou doporučené metody výroby potenciální energie turbíny, hydrodynamická zařízení (např. Archimédův šroub) a vodní lopatková kola. [1]

### 2.5.1 Směřování k pozitivní výrobě elektrické energie

Při volbě nejlepších dostupných postupů (BAT) je možná energetická optimalizace na úrovni 30 až 80 %. Při dlouhodobém plánování a neustálým postupem hledat další způsoby energetické optimalizace je dokonce možné dosáhnout pozitivní produkce energie pro spotřebitele mimo ČOV. [3]

#### **Dosahování 30 až 50% energetické optimalizace:**

K dosažení určité úrovně energetické optimalizace u standardní ČOV je předpokládaná spotřeba energie pro čistící proces, zahrnující odstranění nutričních a terciální dočištění nanejvýš  $0,55 \text{ kWh/m}^3$ . 20% optimalizace je dosažitelná zlepšením aeračního systému, optimalizací řadení čistících procesů, což má za následek snížení spotřeby energie. Za ideální spotřebu se považuje  $0,44 \text{ kWh/m}^3$ . V Rakousku bylo dosaženo i hodnoty okolo  $0,3 \text{ kWh/m}^3$ . Pro dosažení 30% optimalizace je potřebné zvýšit produkci elektrické energie aspoň na  $0,13 \text{ kWh/m}^3$ . Hodnota je dosažitelná zavedením mezofilního vyhnívání (rozklad tekavých rozpuštěných látek aspoň 40 % spolu s kogenerační jednotkou). Efektivita konverze je 25 až 30 %. Při splnění těchto podmínek ČOV s denním přítokem  $17.000 \text{ m}^3$  jsou schopné vygenerovat  $100 \text{ kW/den}$ , při 30% optimalizaci.

Energetická optimalizace dosahující až 50 % je dosažitelná zlepšením separováním znečištění CHSK v usazovací nádrži, tepelnou předúpravou kalu a termofilním vyhníváním. [3]

#### **Dosahování 80% a vyšší energetické optimalizace:**

Jednou z podmínek pro dosahování 80% a vyšší optimalizace je produkce elektrické energie minimálně  $0,35 \text{ kWh/m}^3$ . Pro zvýšení produkce elektřiny je potřeba aplikovat různé kombinace technologií a procesů. Mezi takovéto procesy a technologie se řadí:

- zvyšování separační schopnosti znečištění CHSK od vody v usazovací nádrži,
- předprava kalu za účelem zvýšení rozkladu VSS aspoň na 60 % při mezofilním vyhnívání,
- rozklad minimálně 60 % VSS při termálním vyhnívání,



- vysokoefektivní generátory elektřiny,
- spoluvyhánění, přidávání FOG do vyhnívacích nádrží. [3]

Vypsané technologie a procesy je možné různě kombinovat. V praxi byly použity tyto koncepce:

- centrální ČOV Praha – zvýšení separační schopnosti usazovací nádrže, zlepšení efektivity vyhnívacích nádrží, přestavba mezofilních vyhnívacích nádrží na nádrže termofilní. Dosažená energetická optimalizace je 83,9 %,
- ČOV Werdhölzli, Zurich – tepelná předúprava kalů před vyhnívacím procesem, dosažená optimalizace je 80 až 100 %,
- ČOV Dijon – sušení kalů a výroba elektřiny při jeho spalování. Optimalizace procesu dosahuje téměř 90 %. [3]

Pozitivní produkci elektrické energie je možné dosáhnout aplikací nejlepších dostupných technologií (BAT). Maximalizace procesu výroby elektrické energie je dosažitelná zachycením co největšího možného množství znečištěn CHSK pro vyhnívací procesy, spolu s využitím vysokoefektivních generátorů elektřiny. Možností je i použití palivových článků. Na vedlejší lince je možnost použít technologii ANAMMOX. [3]

Energetickou optimalizací ČOV je možné shrnout do několika mezníků. 30% optimalizace je dosažitelná použitím mezofilního vyhnívacího procesu a kogenerační jednotky. 50% optimalizace je dosažitelná pomocí termálního vyhnívacího a předpravou kalu. 80% optimalizace je dosažitelná využitím pokročilých procesů spolu s vysokoefektivní kogenerační jednotkou, spoluvyháněním kalu a FOG. V současnosti jsou nové technologie soustředěny k optimalizaci čistících procesů, spolu s maximalizací efektivity čištění. [3]

## **2.6 ENERGETICKÁ SOBĚSTAČNOST ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD**

V posledních letech se stále více dostává do popředí problematika tzv. „energetické účinnosti“ čistíren odpadních vod. Jedná se o snahu optimalizovat energetickou bilanci ČOV a to snižováním spotřeby energie a zvyšováním její produkce s cílem co nejvíce se přiblížit k dosažení energetické soběstačnosti ČOV. Je všeobecně známo, že energeticky nejnáročnějším procesem na biologické čistírně odpadních vod je dodávka kyslíku – provzdušňování. Množství potřebného kyslíku závisí na množství odstraňovaného znečištění a na technologické variantě procesu, především zda probíhá také odstraňování

nutrientů. Aerace spotřebuje největší část z celkové elektrické energie. Další výraznější část elektrické energie se spotřebuje na pohon čerpadel a míchadel všeho druhu a pohon dalších elektrických strojů. Pouze malá část se spotřebuje na svícení. [10]

Tepelná energie je potřebná především na ohřev reaktorů pro anaerobní stabilizaci kalů. Spotřeba tepla zde závisí na množství zpracovávaných kalů, na druhu anaerobního procesu (mezofilní, termofilní) a na technologických podmínkách procesu. Část tepelné energie je potřebná pro vytápění budov v zimním období a na přípravu teplé užitkové vody. [10]

### **2.6.1 Faktory ovlivňující energetickou potřebu ČOV – možnosti úspory energie**

Optimalizace energetické bilance ČOV tj. zvýšení „energetické účinnosti“ musí vycházet z energetické bilance ČOV jako celku. Čištění odpadních vod je náročné na potřebu energie. Jediným provozem na ČOV schopným produkovat energii je kalové hospodářství. Anaerobní stabilizace je v současné době energeticky nejrozšířenějším a nejvýhodnějším procesem úpravy čistírenských kalů. Má značné přednosti před přímým spalováním surových kalů z hlediska ekologického i ekonomického. Snížení energetické náročnosti čistírny odpadních vod je možno dosáhnout kombinací dvou způsobů:

#### **1) úsporou energií:**

- například použitím vysoko účinných metod aerace a jejího racionálního řízení,
- snížením zatížení aerobního stupně odstraněním části koloidních a suspendovaných organických látek předsrážením,
- odstraňováním amoniakálního dusíku přímo z kalové vody (deamonizací, fyzikálně-chemicky) apod.,
- zavedením energeticky efektivnějších technologických prvků (dmychadla, čerpadla, separační technika apod.). [10]

#### **2) zlepšení podmínek kalového hospodářství zejména zavedením anaerobní stabilizace kalů a produkce bioplynu:**

- optimalizací vzájemné vazby mezi „vodní linkou“ a linkou zpracování kalů,
- optimalizací technologických podmínek anaerobní stabilizace,
- předúpravou kalů,
- dotací externím substrátem. [10]

## 2.6.2 Kaly – jediný zdroj energie na ČOV

Kaly jsou nevyhnutelným odpadním produktem při čištění odpadních vod. Celkové množství kalů tvoří přibližně 1-2 % objemu čistěných vod. Je v nich však zkoncentrováno 50 až 80 % původního znečištění a náklady na provoz kalového hospodářství představují až 50 % celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod. Cílem další úpravy a zpracování kalů je využití vhodných látek z nich a zabránění nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. [10]

Organické látky obsažené v čistírenských kalech z městských odpadních vod jsou rostlinného nebo živočišného původu. Jedná se o biomasu, o obnovitelný zdroj energie. Vysoký obsah organických látek v kalu ale představuje významný energetický potenciál. Mezi nejefektivnější a nejrozšířenější metody získávání energie z kalu patří anaerobní stabilizace – při které se více než 50 % organických látek transformuje do bioplynu. [10]

Při anaerobní fermentaci lze získat z 1 kg odstraněných organických látek 1 Nm<sup>3</sup> bioplynu, kde každý kg těchto organických látek má výhřevnost 22-25 MJ/kg. Bioplyn obsahuje cca 64 % metanu a 36 % CO<sub>2</sub>. Anaerobní stabilizací kalu o sušině 5 % a obsahu organických látek 70 %, při účinnosti rozkladu 50 % lze získat využitelnou energii ve formě bioplynu v hodnotě cca 8 MJ/kg sušiny kalu, to představuje 32-39 % celkové energie kalu, naproti tomu při přímém spalování lze využít okolo 30 % z celkové energie kalu. Bioplyn je ušlechtilý zdroj energie, který je možno v kogeneračních jednotkách přeměnit s vysokou účinností na elektrickou energii a teplo. [10]

## 2.6.3 Optimalizace technologických podmínek procesu anaerobní stabilizace kalů

V současné době nejrozšířenější metodou zpracování kalů je jejich anaerobní stabilizace, při níž dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek na bioplyn (směs metanu a oxidu uhličitého) za současné stabilizace a hygienizace kalu. Anaerobní stabilizace kalů a následné využívání bioplynu v kogeneračních jednotkách je nejenom ekonomickým přínosem pro čistírnu, ale má také značný ekologický přínos z globálního hlediska - je totiž příspěvkem ke snižování „skleníkového efektu“. Při dobře řízeném provozu takto získaná energie z bioplynu stačí plně pokrýt spotřebu tepla na ČOV a téměř celou potřebu elektrické energie na provoz ČOV. Aby anaerobní stabilizace dosahovala výše uvedené parametry je potřeba se zaměřit v první řadě na optimalizaci technologických podmínek a faktorů ovlivňujících funkci anaerobních reaktorů. [10]

**Míchání:** zabezpečuje homogenizaci obsahu reaktoru, rovnoměrnou distribuci tepla, dobrý kontakt mikroorganismů a substrátu, zamezuje lokálnímu hromadění meziproduktů fermentace, tvorbě zkratových proudů a „mrtvých koutů“ a umožňuje plné využití reakčního objemu reaktoru. Účinnost míchání závisí především na použitém míchacím systému a tvaru nádrže. Účinnost míchání a využití nádrže lze stanovit změřením hydraulické charakteristiky nádrže. [10]

**Dávkování surového kalu:** by se mělo co nejvíce přibližovat kontinuálnímu. To zabrání nárazovému přetížení a pomůže k udržení dynamické rovnováhy systému. K lepšímu kontaktu inokula se substrátem přispěje také dávkování surového směsného kalu do recirkulačního potrubí, pokud možno před výměník tepla a to tak, aby poměr průtoku recirkulovaného a dávkovaného kalu byl alespoň minimálně 3:1. [10]

**Zahušťování:** základním předpokladem ekonomického provozu metanizace je zahuštění dávkovaného surového kalu. Hustota dávkovaného surového kalu ovlivňuje celkový objem zpracovávaného kalu a tím i dobu zdržení v anaerobním reaktoru. Na objemu zpracovávaného kalu závisí také potřeba tepla na jeho ohřev. Čím je řidší kal, tím se musí ohřívat více balastní vody. Horní hranice koncentrace dávkovaného kalu je daná pouze technickými možnostmi zahuštění a dopravy zahuštěného kalu a jeho reologickými vlastnostmi, v praxi se pohybuje okolo 6 - 8 %. [10]

#### 2.6.4 Možnosti intenzifikace produkce bioplynu

**Zvýšení množství kalů:** množství kalů je dáno složením surové odpadní vody, účinností primární separace a typem aerobního stupně a nelze jej významně měnit. Určitého zvýšení množství primárního kalu lze dosáhnout předsrážením surové odpadní vody, značná část koloidních látek přejde do primárního kalu, čímž se zmenší zatížení aerobního stupně. Ideálním způsobem by byla maximální separace organických látek ze surové odpadní vody a jejich anaerobní zpracování. Tento zásah musí být citlivý vzhledem k potřebě substrátu pro odstraňování nutrientů, avšak někdy je ekonomicky výhodnější pro odstraňování nutrientů použít levný externí substrát (např. metanol) a maximální množství organických látek transformovat do bioplynu. [10]

**Způsoby anaerobní stabilizace - termofilní anaerobní stabilizace:** na většině ČOV se používá mezofilní anaerobní stabilizace kalů. V optimálním případě, umožňuje-li to konstrukce a technický stav stávajících reaktorů (statika), lze převést mezofilní proces na termofilní. [10]

Termofilní anaerobní stabilizace (fermentace při teplotě 55 °C) přináší následující efekty:

- zvýšení rychlosti rozkladu organických látek v kalu,
- zvýší se účinnost procesu tím, že se prohloubí rozklad organických látek a tím se zvýší i produkce bioplynu,
- zvýšená teplota má zvýšený hygienizační účinek,
- nižší viskozita – snížení energie na míchání a čerpání,
- odstraní problémy s pěněním methanizačních nádrží. [10]

Technologický význam termofilního procesu je v tom, že umožňuje snížení potřebného objemu reaktorů a umožňuje pracovat při vyšším zatížení reaktorů. Převedení procesu anaerobní stabilizace z mezofilních na termofilní podmínky je významným intenzifikačním krokem, který umožňuje lepší využití stávajících zařízení a odstranění přetížení reaktorů. Hlubší rozklad organických látek má za následek vyšší produkci bioplynu a snížení množství stabilizovaného kalu toto má podstatný vliv na celkovou energetickou bilanci ČOV. [10]

Hlavní podmínkou dobré funkce a stability termofilního procesu je správné zapracování reaktoru. Zapracování mezofilní anaerobní biomasy na termofilní musí probíhat postupně. Zvyšování teploty musí být pozvolné a prováděno takovou rychlostí, aby nedocházelo k poklesu produkce metanu. Jednotlivé kroky zvyšování teploty by neměly být větší než 2-3 °C. Takovýto způsob zapracování je relativně dlouhý (několik měsíců), ale přináší nejspolehlivější výsledky. [10]

**Tab.4: Možnosti zvýšení produkce bioplynu (všechny účinnosti jsou vztaženy k celkovému energetickému obsahu surového směsného kalu) [10]**

	Způsob intenzifikace procesu	Energie v bioplynu %	Energie přeměněná na elektrickou %	Výtěžnost elektrické energie kWh/kg suš.	Čistá využitelná energie %
1	Mezofilní 7 % suš.	44,1	14,9	0,67	29,6
2	Termofilní 7% suš.	63,7	21,5	0,97	39,5
3	ř. 2 +rekuperace 40% tepla	63,7	21,5	0,97	46,1
4	Termofilní 8% suš.	63,7	21,5	0,97	41,5
5	Termofilní + desintegrace	70,5	23,8	1,08	45,5
6	Termofilní + termická hydrolýza	78,3	26,4	1,20	52,4

Za optimální způsob zpracování čistírenských kalů považujeme termofilní anaerobní stabilizaci s intenzifikací produkce bioplynu desintegrací nebo termickou hydrolýzou kalu a zpracování produkovaného bioplynu kogenerací na elektrickou a tepelnou energii. Stabilizovaný kal je již hygienicky zabezpečen a dovolují-li to další okolnosti, lze jej

využít v zemědělství buď přímo, nebo po přepracování kompostováním. Vzhledem k tomu, že stabilizovaný kal obsahuje stále určité množství organických látek, je výhodné tento materiál po odvodnění vysušit a použít jako přídatného paliva v ideálním případě v cementárně, nebo v jiném spalovacím zařízení. K vysušení odvodněného stabilizovaného kalu lze využít tepla z kogenerace. Čím efektivnější bude anaerobní stabilizace, tím bude vyšší produkce bioplynu a vyšší produkce tepla z kogenerace pro sušení stabilizovaného kalu. [10]

## 2.6.5 Shrnutí

Anaerobní stabilizace je nejefektivnějším způsobem zpracování kalů za současného efektivního využití energie v nich obsažené. Anaerobní stabilizací s předúpravou kalu lze převést 64 až 78 % energie z kalu do bioplynu. Zpracováním bioplynu kogenerací lze dosáhnout výtěžnosti elektrické energie 0,9 až 1,20 kWh na kg sušiny surového kalu. Při přímém spalování surového kalu se dosahuje výtěžnosti elektrické energie pouze 0,5 kWh elektriny/kg sušiny. [10]

Kombinovaným působením lyzace přebytečného aktivovaného kalu a termofilní anaerobní stabilizace surového směsného kalu za současné optimalizace míchání, dávkování a zahušťování se dosáhne prohloubení anaerobního rozkladu a podstatného zrychlení procesu stabilizace. To má za následek:

- zvýšení produkce bioplynu o 30 - 40 % oproti původnímu stavu;
- snížení množství stabilizovaného kalu a snížení obsahu organických látek v stabilizovaném kalu pod 50 %;
- celkové zkapacitnění celého kalového hospodářství;
- zvýšení stability provozu, protože vyhnívací nádrže provozované termofilně nepění;
- zvýšení hygienického zabezpečení výstupního stabilizovaného kalu. [10]

Velmi důležitým požadavkem s hlediska ekonomického i ekologického je efektivní využití produkovaného bioplynu pro výrobu elektrické energie a tepla, čímž se ČOV může přiblížit k soběstačnosti ve spotřebě elektrické a tepelné energie. [10]

## 2.7 ENERGETICKÝ AUDIT A BENCHMARK

K tomu, aby mohla být ČOV optimalizována a celý její chod zefektivněný, musí být v první řadě vykonána analýza současného stavu čištění. Taková analýza se nazývá energetický audit. Cílem je posoudit technicko-ekonomický potenciál úspor energie na daném objektu. V našem případě na čistírně odpadních vod a navrhnout soubor konkrétních opatření na snížení energetické náročnosti. Pro realizaci energetického auditu bylo v minulosti vytvořeno několik manuálů, jak jej správně vykonávat. V Evropě a i ve Spojených státech bylo vytvořeno několik manuálů. [3]

- Švýcarsko 1994 BUWAL
- Německo 1999 MURL
- Rakousko 2001 LFUW
- USA 1994 EPRI
- USA 2006 EPA [3]

### 2.7.1 Manuál pro vykonání energetického auditu

Je to technicky zaměřený text určený hlavně pro projektanty ČOV, poskytující detailní informace o energetické náročnosti jednotlivých zařízení a procesů fungujících na celé čistírně odpadních vod. Manuál se skládá z těchto kapitol:

- 1) Návod, jak správně použít manuál.
- 2) ČOV z pohledu spotřeby energie.
- 3) Úspora energie – zaměření na technologickou linku ČOV.
- 4) Úspora energie – zaměření na využití elektrické energie.
- 5) Úspora energie – zaměření na využití tepelné energie.
- 6) Využití bioplynu, sluneční energie a získání tepelné energie.
- 7) Pracovní nástroje. [3]

Kapitola pracovní nástroje nabízí doporučení jak postupovat a na co se při energetickém auditu zaměřit. Energetický audit se skládá z dvou kroků. Prvním krokem je základní rozbor ČOV, druhým krokem je další podrobná analýza. Základní rozbor ČOV je zaměřený na 5 bodů švýcarského manuálu energetické optimalizace, které jsou popsány v kapitole **2.7.2 Benchmark energetické optimalizace**. Podrobná analýza vyhodnotí spotřebu energie každého zařízení na ČOV s významnější spotřebou. Získané hodnoty jsou

porovnané s hodnotami cílovými z energetického manuálu. Několik aspektů je podstatnějších, než ostatní:

- 80 až 90 % spotřebované elektrické energie je přezkoumána, pokud bude analyzovaný aerační systém, zpracování kalu a čerpání vody,
- pro aktivovaný kal je minimální požadované množství kyslíku  $2 \text{ kg O}_2^{-1} \text{ kWh}^{-1}$ ,
- minimální požadavky na průběh mezofilního vyhnívání kalu mohou být definované přes: rozklad minimálně 45 % VSS, produkce bioplynu minimálně 750 l/kg rozložených VSS a nebo minimálně 340 l/kg VSS přivedených do vyhnívací nádrže,
- minimální požadavky na efektivitu čerpání jsou 65% pro šroubová čerpadla a 70% pro uzavřená čerpadla. [3]

Při kritériích energetického auditu, která ČOV nesplňuje, jsou formulovány návrhy na energetickou optimalizaci. Současně jsou spočítány i úspory, která budou opatřeními dosažitelné, spolu s náklady na jejich realizaci. Ve Švýcarsku jsou energetické audity vykonávané už od roku 2003 a výsledky jsou jednoznačné:

- Náklady na energie na optimalizovaných ČOV poklesly v průměru o 34 %,
- 33 % z úspor z nákladů bylo dosaženo zvýšením efektivity čistících procesů, 67 % ze zvýšení produkce bioplynu,
- největší zefektivnění čištění proběhlo v oblasti aktivačního procesu, zlepšením řízení spotřeby energie,
- současná úspora nákladů dosahuje 8 miliónů eur ročně, což je 120 miliónů za 15 let. [3]

V Německu úspora nákladů za energie může dosáhnout až 50 %. V 15-ti ročním časovém úseku může hodnota úspory dosáhnout 3 až 4 miliardy eur. [3]

## 2.7.2 Benchmark energetické optimalizace

Ve snaze vykonávat benchmark různých ČOV, porovnávat jejich jednotlivé výsledky, vlastnosti a jejich spotřebu energií je potřebné nadefinovat určité body, o které se při porovnávání bude možné opřít. K tomu, aby zahraniční porovnávání v důsledku rozdílných norem, či měrných jednotek bylo možné, byly zavedeny srovnávací ukazatele a převodní koeficienty. [3]



Při výpočtu spotřeby energie jednotlivých procesů je potřebné si uvědomit možnou rozdílnou hodnotu CHSK, dusíku, fosforu a ostatních ukazatelů na ekvivalentního obyvatele EO. Cílové hodnoty spotřeby a produkce elektrické energie na ČOV byly definovány pro možnost porovnání ČOV. Švýcarský manuál pro energetický audit udává 5 cílových parametrů v tomto pořadí:

- 1) Specifická spotřeba energie pro aerační proces,
  - 2) minimálně 95 % bioplynu musí být využito,
  - 3) minimálně 27 % bioplynu musí být přeměněno na elektrickou energii,
  - 4) v závislosti na velikosti ČOV stanoveno množství elektrické energie využitě z bioplynu,
  - 5) v závislosti na velikosti ČOV stanoveno množství tepelné energie využitě z bioplynu.
- [3]

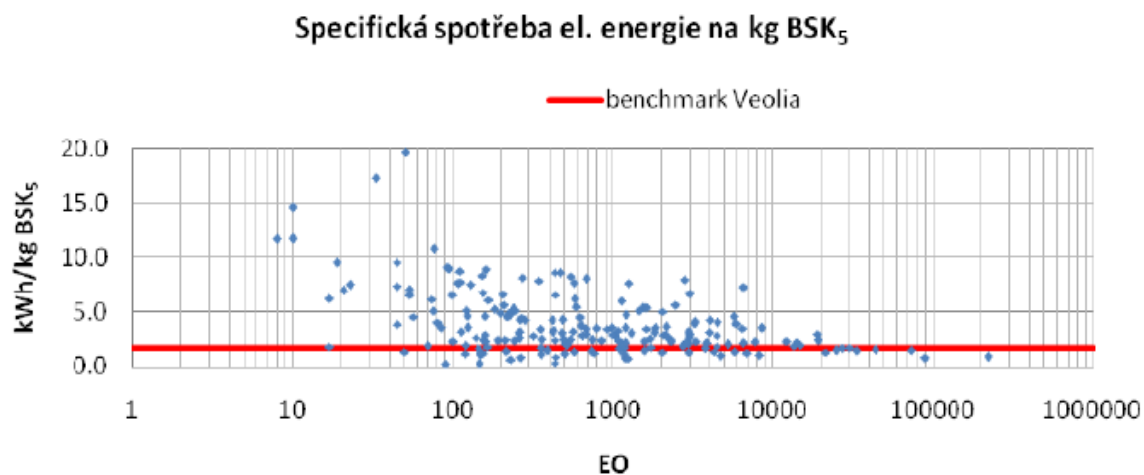
Roční spotřeba energie na odstranění znečištění CHSK na EO na rok představuje ve Švédsku 42 kWh. V Rakousku je takto hodnota 23 kWh. Důvod tohoto velkého rozdílu jsou už roky probíhající benchmarkingové studie zaměřené na snižování spotřeby elektrické energie. [3]

### **2.7.3 Benchmarking ČOV provozovaných skupinou Veolia Voda ve střední Evropě.**

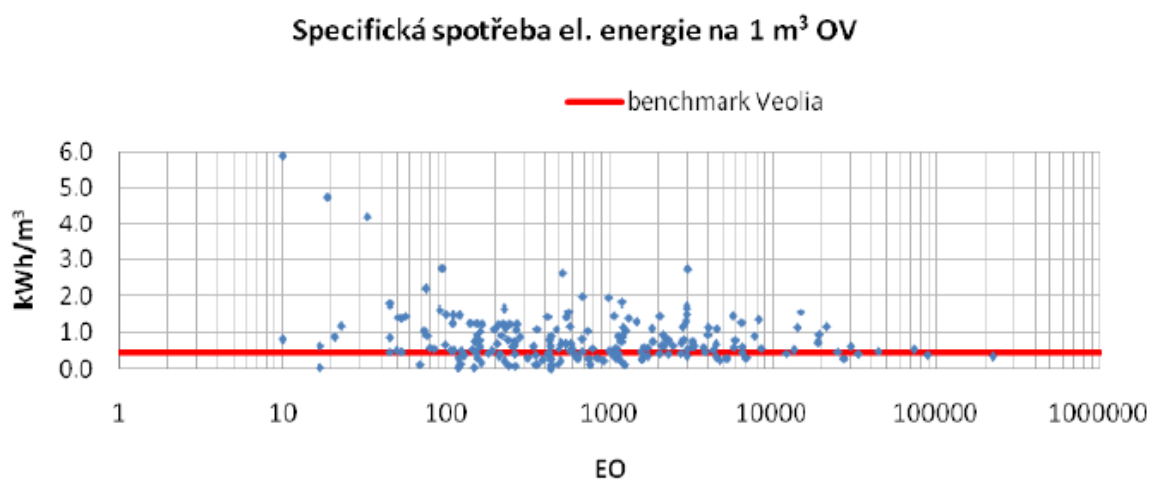
Chudoba a kol. v publikaci Benchmarking velkých ČOV – II. část prezentuje benchmarking kalového hospodářství velkých ČOV provozovaných skupinou Veolia Voda ve střední Evropě. Z tohoto zdroje bylo možné využít jako benchmark specifickou spotřebu elektrické energie vztaženou na zatížení v kg BSK<sub>5</sub> na přítoku (ES/BSK<sub>přít.</sub>) a specifickou spotřebu el. energie vztaženou k průměrnému množství odpadních vod na přítoku ČOV v m<sup>3</sup> (ES/m<sup>3</sup>):

- 1) ES/BSK<sub>přít.</sub> = celková spotřeba elektrické energie na ČOV v kWh/rok / zatížení na přítoku v kg BSK<sub>5</sub>/den\*365 = 1,68 kWh/kg BSK<sub>5</sub>
- 2) ES/m<sup>3</sup> = celková spotřeba elektrické energie na ČOV v kWh/rok / průměrné množství odpadních vod na přítoku v m<sup>3</sup>/rok = 0,44 kWh/m<sup>3</sup> [8]

Tyto benchmarky byly porovnány se stejnými ukazateli u 243 ČOV provozovaných v rámci skupiny Energie AG Bohemia. [8]

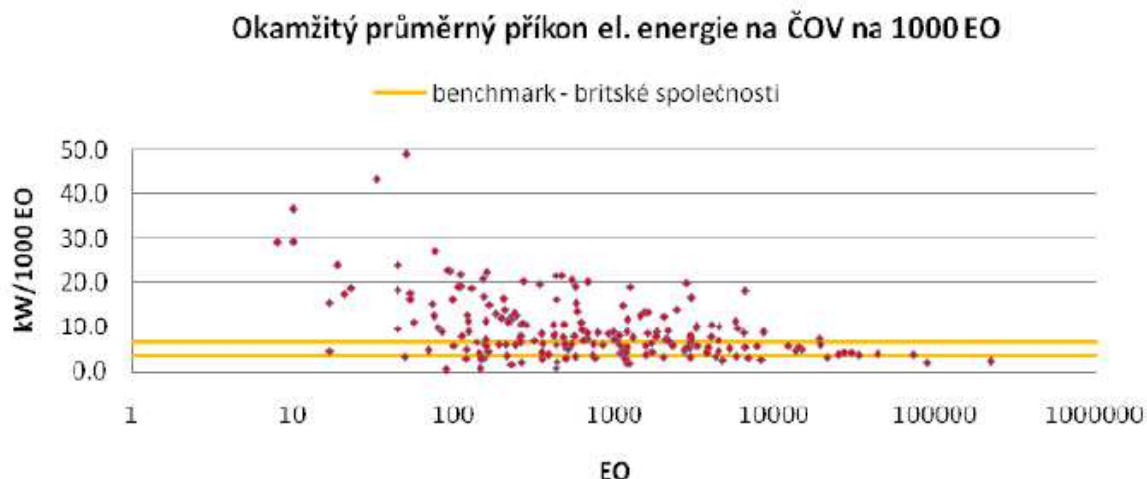


Obr.11: Specifická spotřeba el. energie vztažená na BSK<sub>5</sub> ( $ES/BSK_{přít.}$ ) [8]



Obr.12: Specifická spotřeba el. energie vztažená na průtok OV ( $ES/m^3$ ) [8]

Britská firma Meniscus Systems Limited provedla energetický benchmarking ČOV na základě dat z roku 2007 publikovaných OFWAT. Jako ukazatel energetické náročnosti ČOV využila průměrný okamžitý elektrický příkon v kW na 1000 ekvivalentních obyvatel EP/1000 EO (obr. 13). Zdrojem dat je opět databáze skupiny Energie AG Bohemia publikovaných v: databáze ČOV provozovaných společnostmi skupiny Energie AG Bohemia, 2007-2009. [8]



Obr.13: Průměrný okamžitý příkon el. energie vztažený na 1000 EO (EP/1000 EO) [8]

Hodnota benchmarku ukazatele EP/1000 EO u jednotlivých společností: Anglian Water 3,4 kW/1000 EO; Wessex Water 3,8 kW/1000 EO; Welsh Water 4,0 kW/1000 EO; South West Water 6,6 kW/1000 EO.

Již pouhým porovnáním **obr. 11** a **13** lze postřehnout, že mezi ukazateli ES/BSKpřít. a EP/1000 EO platí lineární vztah, který lze kvantifikovat jako:  
$$\text{ES/BSKpřít.} = \text{EP/1000 EO} / 2,5$$
 [8]

Z **obr. 11, 12, 13** vyplývá, že u ČOV o velikosti od cca 12 000 EO leží hodnoty pod stanoveným benchmarkem. Se snižující se velikostí ČOV roste rozptýl hodnot.

U velikostí ČOV v rozsahu 100 – 10 000 EO leží hodnoty ukazatele ES/BSKpřít. v intervalu  $\langle 0;10 \rangle$ , ukazatele SE/m<sup>3</sup> v intervalu  $\langle 0;3 \rangle$  a ukazatele EP/1000 EO v intervalu  $\langle 0;22 \rangle$ . U těchto ČOV je třeba pokračovat v benchmarkingu až na úroveň jednotlivých procesů a zjistit, proč u některých ČOV je specifická spotřeba elektrické energie na hodnotách benchmarku a v některých případech je až 2-3 násobná. V tomto rozsahu velikostí ČOV pravděpodobně leží i maximální potenciál úspor elektrické energie se značným dopadem na provozní náklady. [8]

- Energetickou náročnost ČOV je možné hodnotit pomocí vhodných metod benchmarkingu. Každá ČOV je však svým způsobem jedinečná. Při porovnávání energetické náročnosti je proto nutné postupovat od benchmarkingu lokalit k benchmarkingu jednotlivých technologických stupňů (procesů) až k jednotlivým technologickým prvkům (strojům). [8]

- Bylo ověřeno na reprezentativním vzorku ČOV provozovaných skupinou Energie AG Bohemia, že s rostoucí velikostí ČOV vyjádřenou počtem EO se snižuje rozptyl hodnot specifické spotřeby elektrické energie vztažené na látkové či hydraulické zatížení:
  - U ČOV o velikosti 100 – 10 000 EO je možné hledat nejefektivnější úspory elektrické energie s maximálním dopadem na ekonomiku provozu;
  - Hodnocené ČOV s velikostí větší než 12 000 EO nepřekračovaly hodnoty stanovených benchmarků. [8]
- Významných úspor elektrické energie na ČOV lze obecně dosáhnout:
  - Trvalou součinností vlastníka a provozovatele ČOV s vědomím společné vazby na cenu pro stočné; důkladnou předprojektovou přípravou staveb; podrobnou analýzou všech vazeb mezi kanalizačním systémem a ČOV; snížením podílu balastních i srážkových vod v kanalizaci. [8]

## 2.8 ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z BIOMASY

V současné době je přebytečný kal z čistíren odpadních vod považován za odpad, ačkoliv je velice slibným zdrojem energie. Kal obsahuje organické látky, dusík a fosfor a tudíž je zajímavý např. pro aplikaci v zemědělství. Chemická energie vázaná v přitékající organické hmotě je současnými technologickými uspořádáními čistíren postupně s větším či menším užitkem spotřebována. Na usazovacích nádržích zachytíme cca třetinu přitékajícího CHSK do primárního kalu, který lze následně využít na tvorbu bioplynu. Proto by mělo být z energetického hlediska v našem zájmu zachytit na usazovacích co možná nejvíce. Zatímco zhruba 10 % CHSK opouští čistírnu v odtoku, tak jeho hlavní část je pomocí heterotrofní respirace přeměněna na  $\text{CO}_2$  a zbytek se využije na tvorbu biomasy přebytečného aktivovaného kalu. [1]

### 2.8.1 Využití obnovitelné energie

Spotřeba energie v celosvětovém měřítku stoupá zejména v rozvíjejících se ekonomikách typu Indie, Čína nebo zemích třetího světa. Proto se dostává do popředí zájmu efektivní a ekonomické využití energie. Všechny 27 zemí Evropské Unie se zavázalo do r. 2020 vyrábět 20 % energie z obnovitelných zdrojů a zvýšit účinnost využívání energie o 20 %. Mezi obnovitelnými zdroji energie se jeví nejzajímavější využití větrné a solární energie a energie biomasy. [1]

**Tab.5: Energetický potenciál kalu [4]**

	kCal/kg sušiny	EP v 1 kg sušiny (MJ)
kal	3200	13
dřevo	3780	16
domovní odpad	2200	9
uhlí	8000	33

## 2.9 SHRNUTÍ ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE

Úspora energie a vody není jen technická výzva. Možná, že nejdůležitějším faktorem je postoj a chování spotřebitelů. To zahrnuje také to, jakým způsobem zacházíme s teplou a studenou vodou. Z hlediska provozovatelů čistíren odpadních vod je nutné změnit celkový pohled na jejich čištění. Na odpadní vodu by se nemělo pohlížet jako na odpad, ale jako na surovinu. Vedle toho, že obsahuje organické látky, je zdrojem dusíku a fosforu (kterého je nedostatek a je nutné jej začít v co nejvyšší míře recyklovat), produkuje vyčištěnou odpadní vodu, která může být posléze ekonomicky zhodnocena a recyklována, tak může být také zdrojem energie. [1]

Na čistírnu odpadních vod bychom se měli začít dívat jako na stavbu, která je schopna být i energeticky soběstačná a je schopna využívat různé nové a alternativní zdroje energie, které byly doposud přehlíženy. Lze předpokládat, že energetické nároky budou při současné ekonomické krizi zmiňovány více a více nejen při návrzích nových čistíren odpadních vod, ale i při jejich optimalizacích. V současnosti jsou rekonstrukce a výstavby nových čistíren odpadních vod finančně podporovány z národních a evropských dotačních titulů. Až skončí dotační tituly bude potřeba, aby se každá nová čistírna, rekonstrukce, rozšíření či změna technologie a úprava čistírenského procesu zaplatila. Zároveň je potřeba se neustále zabývat zdokonalováním čistírenského procesu ve smyslu dodržování stále se zpřísnujících limitů vypouštění a ochrany životního prostředí, zlepšováním ekonomiky, využití dostupných surovin a energií, které v sobě odpadní voda nese a zároveň dosahování stále udržitelného rozvoje vodního hospodářství, potažmo celé společnosti, protože voda je pro náš další rozvoj klíčová. [1]

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část diplomové práce spočívala ve vytvoření dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na čistírnách odpadních vod do 2000 ekvivalentních obyvatel. Dotazník obsahuje hlavní a pomocné ukazatele, které zájemce vyplní a na základě vypsání údajů se dotazník následně vyhodnotí a zjištěné výsledky se zašlou zpět k zájemci. Počet vyplňovaných ukazatelů v dotazníku je osm. Do dotazníku budou zaznamenány jak obecné údaje o vlastníkovi a provozovateli čistírny odpadních vod, které budou sloužit pro snadnou evidenci, tak údaje o technickém stavu a ekonomice provozu ČOV. Všechny ukazatele budou přehledně a podrobně popsány, aby nedošlo k chybnému vyplnění dotazníku. Vyhodnocení zapsaných údajů se provede pomocí vyhodnocovacího formuláře, který jednoznačně určí body, které navyšují spotřebu elektrické energie.

#### DOTAZNÍK PRO MOŽNOU ÚSPORU ELEKTRICKÉ ENERGIE NA ČOV < 2000EO

##### 1) Obecné údaje:

1.1 Vlastník čistírny odpadních vod	
1.2 Provozovatel čistírny odpadních vod	
1.3 Adresa pro doručování	
1.4 Obec/umístění čistírny odpadních vod	
1.5 Telefon/Email	

##### 2) Údaje o vypouštěných odpadních vodách a způsobu čištění OV:

2.1 Kapacita ČOV na EO	
2.2 Počet napojených EO na ČOV	
2.3 Druh vypouštěných vod	městské/komunální OV <input type="checkbox"/> průmyslové OV <input type="checkbox"/> zemědělské OV <input type="checkbox"/> jiné <input type="checkbox"/> popis:
2.4 Průmyslové/zemědělské odvětví	
2.5 Typ čistírny odpadních vod	mechanicko-biologická <input type="checkbox"/> biologická <input type="checkbox"/> mechanická <input type="checkbox"/> jiné <input type="checkbox"/> popis:
2.6 Způsob čištění	aktivace* <input type="checkbox"/> biofiltry <input type="checkbox"/> biodisky <input type="checkbox"/> MBR <input type="checkbox"/> jiné <input type="checkbox"/> popis:
2.7 *Typ aktivační nádrže	přerušovaná denitrifikace <input type="checkbox"/> oběhová aktivace <input type="checkbox"/>
	predenitrifikace (D-N proces) <input type="checkbox"/> R-D-N systém <input type="checkbox"/>
	simultánní denitrifikace <input type="checkbox"/> SBR proces <input type="checkbox"/>
	jiná (popis): <input type="checkbox"/>

##### 3) Údaje o množství vypouštěných vod:

3.1 Údaje na odtoku z ČOV	$Q_{24}$	[l/s]
3.2 Údaje na přítoku do ČOV	$Q_{24}$	[l/s]
3.3 Kapacita ČOV dle projektu	$Q_{24}$	[l/s]

$Q_{\max}$	[m <sup>3</sup> /měsíc]
$Q_{\max}$	[m <sup>3</sup> /měsíc]
$Q_{\max}$	[m <sup>3</sup> /měsíc]

#### 4) Údaje o jakosti vypouštěných OV v [mg/l] pro ČOV do 2000EO:

	CHSK <sub>cr</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sup>4</sup>	
4.1 Limity dosahované na odtoku	p	m	p	m	p	m	p	m
4.2 Hodnoty nařízeny vodoprávním úřadem	p	m	p	m	p	m	p	m
4.3 Přídavné čištění	odstraňování fosforu <input type="checkbox"/>		odstraňování dusíku <input type="checkbox"/>					
4.4 Limity P <sub>celk</sub> a N <sub>celk</sub> nařízeny vodoprávním úřadem	P <sub>celk</sub>		[mg/l]		N <sub>celk</sub>		[mg/l]	
4.5 Hodnoty P <sub>celk</sub> a N <sub>celk</sub> na odtoku z ČOV	P <sub>celk</sub>		[mg/l]		N <sub>celk</sub>		[mg/l]	

#### 5) Objekty a strojní zařízení:

5) Objekty a strojní zařízení:		stáří zařízení [roky] *	údržba strojního zařízení *	počet poruch/rok	účinnost čerpadla [%]	počet provozních	počet rezervních	kW/1ks	
5.1 Čerpací jímka	čerpadlo								
5.2 Aktivační nádrž	dmychadlo				-----				
5.3 Uskladňovací nádrž	čerpadlo								
	dmychadlo				-----				
5.4 Ostatní zařízení									
* stáří zařízení		do kolonky se vyplíše stáří u provozních i rezervních zařízení							
* USZ označit číslem		dle výrobce	1	vyjímecně	2	po poruše	3	ne	4

#### 6) Ekonomické ukazatele:

6.1 Provozní koncentrace kyslíku při nitrifikaci	[mg/l]
6.2 Spotřeba elektrické energie na ČOV	[kWh/rok]
6.3 Spotřeba elekt. energie na kg BSK <sub>5</sub>	* [kWh/kg BSK <sub>5</sub> ]
6.4 Spotřeba elekt. energie na 1m <sup>3</sup> OV	[kWh/1m <sup>3</sup> OV]
6.5 Spotřeba elekt. energie na EO	[kW/EO]

\* povinný údaj

#### 7) Řízení provozu čistírny odpadních vod:

7.1 Časové řízení	<input type="checkbox"/>	
7.2 Kyslíková sonda	<input type="checkbox"/>	
7.3 Dmychadla s frekvenčním měničem	<input type="checkbox"/>	
7.4 Dvouotáčková dmychadla	<input type="checkbox"/>	
7.5 Řídící systémy	<input type="checkbox"/>	Popis:
7.6 Jiné	<input type="checkbox"/>	Popis:

#### 8) Pomocné ukazatele:

8.1 Stáří kanalizace	[roky]	
8.2 Typy kanalizace	gravitační	<input type="checkbox"/> podtlaková <input type="checkbox"/> tlaková <input type="checkbox"/>
	jednotná	<input type="checkbox"/> oddílná <input type="checkbox"/> kombinovaná <input type="checkbox"/>
8.3 Odchylka balastních vod	[%]	

#### Poznámky:

- \*EO ekvivalentní obyvatele
- \*ČOV čistírna odpadních vod
- \*OV odpadní vody
- \*MBR membránový bioreaktor
- \*SBR sequencing bath reactor
- \*USZ údržba strojního zařízení

Obr.14: Dotazník pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV < 2000EO



## 3.1 POPIS ÚDAJŮ V ENERGETICKÉM DOTAZNÍKU

Energetický dotazník obsahuje 8 ukazatelů. Všechny tyto ukazatele jsou podrobně popsány, aby nedošlo k chybnému vyplnění dotazníku. Každý ukazatel obsahuje několik bodů. Body jsou očíslovány v závislosti na čísle ukazatele viz energetický dotazník obr. 14. Pro vyhodnocení se použijí hlavní ukazatele č. 5, 6 a 7, které mohou odhalit zvýšenou spotřebu elektrické energie na čistírně odpadních vod. Ostatní ukazatele jsou buď informační nebo pomocné. Informační ukazatele slouží pro snadnou lokalizaci čistírny odpadních vod, archivaci dotazníku a získání kontaktních údajů o provozovateli nebo majiteli čistírny odpadních vod. Pomocné ukazatele slouží pro snadnější odhalení příčin zvýšeného odběru elektrické energie.

### 3.1.1 Obecné údaje

**Mezi hodnotící údaje patří:**

**1.1 Vlastník čistírny odpadních vod:** fyzická nebo právnická osoba, která vlastní čistírnu odpadních vod.

**1.2 Provozovatel čistírny odpadních vod:** fyzická nebo právnická osoba, která provozuje čistírnu odpadních vod.

**1.3 Adresa pro doručování:** adresa osoby, které bude možno zaslat korespondenci související s vyhodnocením energetického dotazníku.

**1.4 Obec/umístění čistírny odpadních vod:** název obce, ve které je ČOV umístěna nebo katastrální území. Údaj slouží pro lokalizaci.

**1.5 Telefon/email:** kontakt na provozníka nebo majitele ČOV. Kontakt slouží pro rychlou komunikaci v případě jakýchkoliv otázek a upřesnění.

### 3.1.2 Údaje o vypouštěných odpadních vodách a způsob čištění OV

**Mezi hodnotící údaje patří:**

**2.1 Kapacita ČOV na EO:** maximální počet ekvivalentních obyvatel, které je možno napojit na čistírnu odpadních vod. Jedná se o projektovou kapacitu.

**2.2 Počet napojených EO:** aktuální počet připojených ekvivalentních obyvatel na čistírnu odpadních vod.

**2.3 Druh vypouštěných odpadních vod:** zájemce označí druh odpadních vod, které přitékají na ČOV. Je možno označit více možností, anebo popsat druh odpadních vod,



pokud výběr neodpovídá vypsáním možností. Možnosti jsou: městské/komunální OV, průmyslové OV a zemědělské OV.

### **Popis odpadních vod:**

**Městské/komunální odpadní vody** - jsou definovány jako odpadní vody vypouštěné obyvatelstvem z bytů a obytných domů. Do této kategorie spadají i odpadní vody z obecní, resp. městské vybavenosti (školy, úřady, restaurace a hotely apod.), které mají obdobný charakter jako odpadní vody z domácností. Při návrhu množství splaškových odpadních vod u nových ČOV nebo u rekonstrukcí, u kterých dochází k významné změně na kanalizační síti (např. připojení dalších obyvatel) se vychází z fakturované pitné vody odebírané obyvatelstvem. Většina této vody po použití odtéká do kanalizace. Zde opomeňme například vodu použitou pro zalévání apod., protože je kompenzována přítokem nefakturované vody např. ze soukromých studen. Skutečný návrh musí vycházet z vyhodnocení dané lokality. Níže popsaným způsobem získáme hodnotu specifického množství splaškových odpadních vod  $q_{\text{spec}}$  (tj. množství na 1 obyvatele za den). Hodnota  $q_{\text{spec}}$  se pohybuje dle lokality 80 – 120 l na osobu a den, v praxi se používá mírně nadhodnocená hodnota  $q_{\text{spec}} = 150$  l na osobu a den, která v sobě zahrnuje i jistou bezpečnostní rezervu. Zde je však nutné upozornit, že se vzrůstající cenou vodného klesá i spotřeba vody. [12]

**Průmyslové odpadní vody** - jedná se o odpadní vody vypuštěné do veřejné kanalizace z průmyslových závodů. Tyto vody musí být před vypuštěním ze závodu do veřejné kanalizace upraveny tak, aby vyhovovaly provoznímu řádu kanalizace, respektive byly čistitelné technologií komunální ČOV. Obecně však platí, že by průmyslové odpadní vody měly být odděleny a čištěny na samostatných průmyslových ČOV. Bohužel v minulosti byly takové vody, často s obsahem toxických látek (např. těžké kovy, pesticidy apod.), běžně vypouštěny do kanalizace, a to často bez ohledu na možnosti koncové ČOV. V současnosti je vyvíjen odborný, ale i ekonomický tlak na oddělení takovýchto vod od veřejné kanalizace. Množství průmyslových odpadních vod je nutné stanovit individuálně dle typu a technologie výroby. [12]

**Zemědělské odpadní vody** - jedná se o odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace ze zemědělských závodů a chovů. Tyto odpadní vody bývají velmi zatíženy, a proto je potřeba před vypuštěním do veřejné kanalizace předčistit. Druh znečištění se odvíjí od závodu a chovu zvířat. Odpadní vody mohou obsahovat zvýšené množství nutrientů a podobně fosforu a dusíku z hnojiv, ale také BSK a CHSK od zvířat. U chovů zvířat existují tabulky pro přepočty znečištění od druhu zvířete na ekvivalentního

obyvatele. Tyto hodnoty se různí, a proto při návrhu čistírny odpadních vod musíme být vždy informováni o druhu a produkci zemědělské a chovatelské výroby v lokalitě.

**Tab.6: Hodnoty BSK<sub>5</sub> v různých průmyslových odvětvích v přepočtu na EO [12]**

Průmyslové odvětví	Jednotka	BSK <sub>5</sub> [kg]	Počet EO
Cukrovar	1000 kg řepy	2,7 – 4,2	45 – 70
Drožďárna	1000 kg droždí	300 – 400	5000 – 7000
Jatky	1000 kg živé váhy	7,8 – 24	130 – 400
Kafilérie	1000 kg suroviny	6	100
Lihovar	1 m <sup>3</sup> obilí	120 – 210	2000 – 3500
Mlékárna bez sýrárny	1 m <sup>3</sup> mléka	1,5 – 4,2	25 – 70
Mlékárna se sýrárnou	1 m <sup>3</sup> mléka	2,7 – 13,8	45 – 230
Papírna	1000 kg papíru	12 – 54	200 – 900
Paření brambor	1000 kg brambor	1,5 – 3	25 – 50
Pivovar	1 m <sup>3</sup> piva	9 – 21	150 – 350
Sladovna	1000 kg sladu	0,6 – 6	10 – 100
Škrobárna	1000 kg pšenice	30 – 54	500 – 900
Ustájení krav	1 kráva	0,3 – 0,6	5 – 10
Výkrm vepřů	1 vepř	0,18	3
Výroba vína	1 m <sup>3</sup> vína	6 – 8,4	100 – 140

**2.4 Průmyslové/zemědělské odvětví:** pokud se v předchozím bodě označí průmyslové nebo zemědělské odpadní vody, tak se popíše druh závodu.

**2.5 Typ čistírny odpadních vod:** zájemce označí typ čistírny odpadních vod. Pokud možnosti mechanicko-biologická, biologická a mechanická neodpovídají konkrétní ČOV, je možnost popisu příslušného typu v kolonce jiné.

### Popis jednotlivých typů čištění na ČOV:

**Mechanické čištění odpadních vod** - jde o nejjednodušší způsob odstraňování znečištění z vody, a to mechanickou separací znečišťujících látek. Provádí se obvykle ve dvou stupních. V prvním stupni dochází k oddělení hrubšího materiálu na česlích a v lapácích písku. V dalším stupni jsou odstraněny látky usaditelné prostou sedimentací. Rychlost usazování částic je určena jejich velikostí, tvarem, hustotou a viskozitou. Při usazování rozlišujeme prostou a rušenou sedimentaci. Tímto postupem lze snížit koncentraci organického znečištění obsaženého ve splaškové odpadní vodě o 15 – 30 %. Je zřejmé, že použití tohoto způsobu čištění odpadních vod je zcela nedostatečné a lze jej využít pouze pro předčištění. [11]

**Biologické čištění odpadních vod** - biologické čištění odpadních vod využívá schopnosti mikroorganismů rozkládat organické znečištění ve vodním prostředí. Rozkladný proces je velmi složitý, rychlost tohoto procesu závisí na řadě faktorů, např. na obsahu kyslíku ve vodě, pH, teplotě, typu znečištění, přítomnosti toxických látek a použité

metodě čištění. V biologickém stupni čištění se odstraní takové množství (živin), které je použito na stavbu další buněčné hmoty. Předpokládá se odstranění úměrné poměru  $BSK_5:N:P$  na přítoku 100:5:1. V principu se jedná o intenzifikaci samočisticích procesů probíhajících v povrchových vodách. Hlavním rozdílem je rychlost odbourávání, která je v porovnání s čistírnou relativně nízká. Proto lze v čistírně dosáhnout stejného efektu za poměrně kratší dobu. [11]

**2.6 Způsob čištění:** zájemce označí příslušný způsob čištění odpadních vod dle možností. Pokud se označí aktivace, je potřeba v dalším bodě označit typ. V případě, že možnosti aktivace, biofiltru, biodisku a MBR neodpovídají konkrétnímu způsobu čištění, je možno způsob čištění přímo vypsát v kolonce jiné.

#### **Popis jednotlivých způsobů čištění:**

**Biofiltry** - princip čištění u čistírny odpadních vod je založen na činnosti mikroorganismů přisedlých na pevném podkladu (bionosiči), na který se skrápěcím zařízením rozstřikuje odpadní voda. Biologický filtr čistírny odpadních vod tvoří nádrž s roštovým dnem a náplní (plastová nebo klasická z přírodního kamene). Roštovým dnem je přirozeným prouděním (komínový tah) přiváděno dostatečné množství vzduchu do tělesa biofiltru pro biologický proces, což je základní podmínka jeho dobré funkce. Technologie čistírny s biofiltry se skládá z mechanického předčištění – usazovací nádrže, biofiltru a dosazovací nádrže. Na povrchu náplně biofiltru se po určité době vytvoří směsná kultura mikroorganismů, která rozkládá přítomné organické látky v odpadní vodě. Účinnost procesu závisí na volbě náplně (účinné ploše) a objemu biofiltru. Vhodně nadimenzovaný biofiltr dosahuje účinnosti 80 - 90 % na  $BSK_5$ . Účinnost procesů (rychlost odbourávání) je silně závislá na teplotních podmínkách ovlivňujících rozpustnost kyslíku. Technologie biofiltru je u nás velmi málo používána. Můžeme se s ní setkat např. v SRN, Rakousku, Nizozemí a USA. [13]

**Biodisky** - rotační biodiskové čistírny odpadních vod podobně jako biofiltry využívají činnosti mikroorganismů přisedlých na bionosiči. Na rozdíl od biofiltrů však není tento nosič skrápěn, ale rotuje (otáčí se) částečně ponořen do odpadní vody. Při otáčení dochází k střídavému kontaktu s odpadní vodou a vzduchem. Tím je zajištěn stálý přísun kyslíku ke směsné kultuře mikroorganismů přisedlých na ploše biodisku u čistírny odpadních vod. Vlastní čistírnu tvoří nádrž dělená na část usazovací, biozónu s disky a část dosazovací. Jedná se o technologii u nás velmi rozšířenou a používanou především u menších čistíren. Vyniká především snadnou obsluhou a stabilitou provozu. Biodiskové čistírny, přestože jsou nyní vytlačovány aktivačními systémy (klasické nebo s biokontaktorem), mají

nezaměnitelné místo při použití v lokalitách s nerovnoměrným nátokem nebo pro odpadní vody s nízkým obsahem znečištění ( $BSK_5$  pod 150 mg/l). [13]

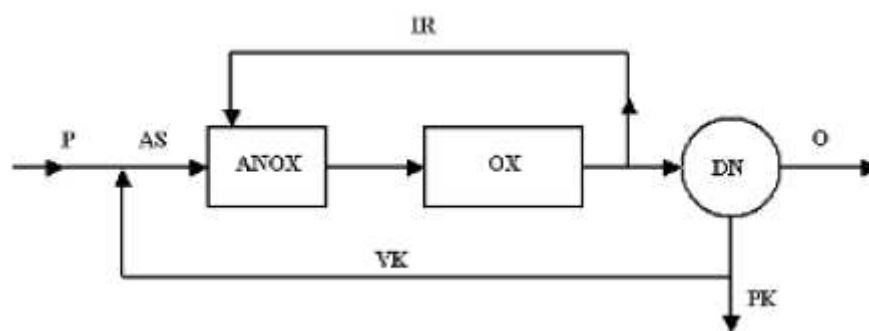
**MBR** - MBR moduly slouží k oddělení kalu a vyčištěné vody, fungují na principu mikrofiltrace. Membránový modul MBR je vybavený membránovými elementy s rozličnou velikostí pórů, který zabezpečí filtraci vody přes jednotlivé membránové elementy. MBR moduly slouží k oddělení vzniklých chemických kalů, které obsahují nasorbované organické znečištění jako i vysrážené kovy (záleží na stupni a formě znečištění vstupních odpadových vod) a vody. Schopnosti MBR: oddělení kalu od vyčištěné vody, účinná mikrofiltrace, vysoce kvalitní voda po filtraci, možnost využívat každou linii MBR modulů samostatně, jednoduchý provoz a údržba a dostatečná požadovaná kapacita. [14]

**2.7 Typ aktivační nádrže:** v možnostech jsou vypsány nejčastěji se vyskytující typy aktivací. Pokud možnosti neodpovídají typu aktivace je opět možnost v kolonce jiné vypsát konkrétní typ.

#### **Popis jednotlivých druhů aktivačních nádrží:**

**Přerušovaná denitrifikace** - tento typ aktivačních procesů pracuje v jednom biologickém reaktoru o dostatečně velkém objemu, kdy střídavě během kontinuálního nátoky odpadní vody dochází k alternaci provzdušňovaných a neprovzdušňovaných period. Během fáze provzdušňování dochází k procesům oxické eliminace organického znečištění a biologické nitrifikaci. Ve fázi, kdy je přístup vzduchu vypnut (nutné pomaluběžné míchání aktivační směsi) dochází k procesu biologické denitrifikace a odstraňování organického substrátu v anoxické/anaerobní fázi. U tohoto typu systémů dochází k periodické fluktuaci kvality odtoku, a to především v koncentracích  $N-NH_4$  a  $N-NO_3$ . Vzhledem k vyšší hydraulické době zdržení v systému (obvykle nad 24 hodin) a vysoké vyrovnávací kapacitě nádrže jsou odtokové hodnoty udržovány na velmi nízkých koncentračních limitech v poměrně malém rozsahu fluktuace. Systémy tohoto typu vyžadují vyšší technologickou odbornost při optimalizaci funkce a řízení. Řízení systému je výhodné plně automatizovat. Systém je velice úsporný z hlediska nároků na energii a technologické vybavení. Chybí v něm interní recirkulace a veškerá technologie je soustředěna do jediného reaktoru. Provozní uspořádání vyžaduje samozřejmě dvě paralelní linky. Systém je možno s výhodou vybavit oxickým selektorem či post-aeračním reaktorem, který do jisté míry eliminuje fluktuace kvality odtoku v důsledku přerušované aerace. [16]

**Predenitrifikace (D-N proces)** - Zajištění požadavku na současnou přítomnost lehce odbouratelných organických látek a oxidovaných forem dusíku zajišťují aktivační systémy s predenitrifikací. Směšování vratného aktivovaného kalu a interní recirkulace aktivační směsi z konce nitrifikační nádrže s odpadní vodou za anoxických podmínek umožňuje využít organických látek z odpadní vody jako substrátu pro denitrifikaci. Ovšem dusičnany vznikají až v následném stupni - nitrifikačním, takže je nutno je do předřazené denitrifikační zóny vracet recirkulací. Obvykle požadovaný recirkulační poměr je natolik vysoký, že je nezbytné zavedení interní recirkulace, jinak by došlo k přetížení dosazovací nádrže. Proto se odděluje recykl vratného kalu do tzv. interní recirkulace, kterou se přivádí do anoxické zóny aktivační směs ze zóny oxické. Použití D-N procesu je výhodné pro méně koncentrované odpadní vody, kdy je velikost nádrží ovlivněna požadovanými dobami kontaktu. Množství kalu v systému pak postačuje k udržení požadovaného stáří kalu. Pokud množství kalu v systému je nedostatečné a současně se dodržují požadované doby kontaktu v oxické a anoxické zóně, lze s výhodou využít zařazení regenerační nádrže do aktivačního systému a tím zvýšit zásobu aktivovaného kalu na požadovanou hodnotu. Nový systém se nazývá R-D-N. [15]



Obr.15: Schéma aktivačního systému s předřazenou denitrifikací [11]

**Kde:** P – přítok, O – odtok, AS - aktivační směs, VK - vratný aktivovaný kal, PK - přebytečný aktivovaný kal, IR - interní recirkulace aktivační směsi, ANOX - anoxická část, OX - oxická část, DN - dosazovací nádrž. [11]

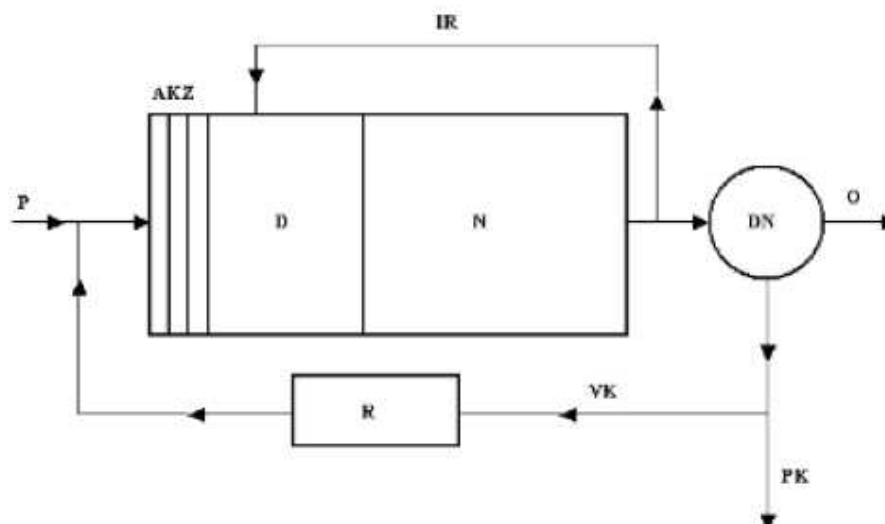
Směšování vratného aktivovaného kalu s odpadní vodou za anoxických podmínek umožňuje využít organických látek z odpadní vody jako substrátu pro denitrifikaci. V opačném uspořádání (N-D) by se do denitrifikační zóny musel přidávat organický substrát, pokud možno bez dusíku (metanol apod.). Ovšem dusičnany vznikají až v následném stupni - nitrifikačním, takže je nutno je do předřazené denitrifikační zóny vracet recirkulací. Ovšem vyžadované recirkulační poměry jsou natolik vysoké, že pokud by se recirkulace odehrávala pouze recyklem vratného aktivovaného kalu, došlo by

k přetížení dosazovací nádrže. Proto se odděluje recykl vratného kalu od tzv. interní recirkulace, kterou se přivádí do anoxické zóny aktivační směs ze zóny oxické. [11]

**Simultání denitrifikace** - V čistírenské praxi se pod pojmem simultánní nitrifikace a denitrifikace rozumí takové uspořádání aktivační nádrže, které umožňuje vznik anoxických prostorů v jinak oxickém reaktoru. Anoxické prostory se vytvářejí samovolně v těch místech nádrže, kde sice trvá míchací účinek aerátoru, ale rozpuštěný molekulární kyslík je v důsledku respirační aktivity mikroorganismů již vyčerpán. Na čistírnách, zejména střední kapacity, je velmi často navrhovaná tzv. oběhová aktivace, což je v podstatě karuselová aktivace (kde jsou aerační kartáče nahrazeny aeračními turbínami se svislou hřídelí) pouze s jedním oběhovým žlabem. K stabilizaci anoxických prostorů v oběhovém žlabu přispívá oddělení aerační a míchací funkce aerátorů. K vnosu potřebné energie se používají ponořená vrtulová míchadla, zatímco vzdušný kyslík se dodává jak mechanickou aerací (aerační turbíny či aerační válce - „mamutí rotory“), tak aerací pneumatickou (zejména celoplošné jemnobublinné aerační systémy, umístěné před vrtulovým míchadlem). Vzhledem k hydraulickému charakteru oběhových aktivačních systémů mohou v aktivovaných kalech těchto systémů dominovat vláknité mikroorganismy. Aby se snížilo riziko vláknitého bytění či tvorby pěn, které je ostatně pro tyto systémy charakteristické, předřazují se před oběhové nádrže kontaktní zóny, ve kterých je vratný aktivovaný kal směšován s odpadní vodou tak, aby se vytvořil mezi kontaktní zónou a hlavní nádrží potřebný koncentrační gradient. V mnoha případech je kontaktní zóna navrhována jako anaerobní, což vytváří podmínky i pro biologické odstraňování fosforu. [11]

**Oběhová aktivace** - aktivace s cirkulací aktivační směsi. Nádrže mají hloubku 3 až 5 m a doba oběhu bývá řádově desítky minut, což při řízené aeraci dává možnost vytvořit vedle oxické i anoxickou zónu. Tento typ aktivace dává také možnost oddělené regulace přívodu vzduchu a horizontálního pohybu směsi, která je zajišťována vrtulovým čerpadlem s poměrně malou spotřebou elektrické energie. Uvedený systém je energeticky úsporný. [11]

**R-D-N** - Aktivační systémy s regenerací vratného aktivovaného kalu byly v čistírenské praxi používány již od 50. let. Zařazení regenerační zóny přispívá ke stabilizaci aktivačního procesu a zvyšuje celkovou kalovou zásobu v systému. R-D-N proces respektuje nejnovější poznatky z oblasti populační dynamiky aktivovaného kalu. [11]



Obr.16: Schéma aktivačního procesu R-D-N [11]

**Kde:** AKZ - anoxická kontaktní zóna (kompartmentalizovaná), D - denitrifikační zóna, N - nitrifikační zóna, R - regenerační zóna, DN - dosazovací nádrž, P – přítok, O – odtok, IR – interní recirkulace aktivační směsi, VK - vratný aktivovaný kal, PK - přebytečný aktivovaný kal. [11]

**SBR proces** - proces čištění odpadních vod v tzv. SBR systému (Sequencing Batch Reactor) se vyvinul z původních čistíren s přerušovanou činností (tzv. monoblokových čistíren), u kterých se biologické odstraňování organického znečištění doplnilo o odstraňování nutričních látek. SBR systém je založen na principu odstraňování znečištění z odpadních vod aktivovaným kalem. Oproti klasickým kontinuálním aktivačním systémům využívá SBR proces ke kultivaci aktivovaného kalu a následně k jeho separaci od vyčištěné vody pouze jediného reaktoru – aktivační nádrže. Technologie SBR procesu se provozuje přetržitě – diskontinuálně, kdy dochází střídavě k plnění jednoho a druhého reaktoru, přičemž lze systém provozovat pouze s jednou nádrží. Ačkoliv lze uplatnění vsádkového čištění odpadních vod vysledovat zpět až k počátku století, našly SBR širokého uplatnění především s aplikací mikroprocesových ovladačů a moderního hardwarového zařízení. [15]

**Jiné:** např. **oxidační příkopy** - jde o aktivaci s cirkulací aktivační směsi, kde je reaktorem uzavřené koryto, v němž aktivační směs cirkuluje. Hloubka nádrže cca 1m, a doba oběhu aktivační směsi bývá jen několik minut. [11]

**Přírodní způsoby** - přírodní způsoby čištění odpadních vod využívají v přírodě se vyskytující samočisticí procesy, které probíhají v půdním, vodním a mokřadním prostředí. Vegetace se podílí na čisticím procesu zejména tvorbou příznivých podmínek pro rozvoj

mikroorganismů a současným využíváním uvolněných rostlinných živin k tvorbě biomasy. Čistírny dělíme podle prostředí, ve kterém čištění převážně probíhá na půdní, vodní a mokřadní. [20]

### 3.1.3 Údaje o množství vypouštěných vod

**Mezi hodnotící údaje patří:**

**3.1 Údaje na odtoku z ČOV:** množství vyčištěné odpadní vody vytékající z čistírny odpadních vod zapsané v hodnotách  $Q_{24}$  (průměrný denní průtok v l/s) a  $Q_{\max}$  (maximální měsíční průtok v  $\text{m}^3/\text{měsíc}$ ).

**3.2 Údaje na přítoku do ČOV:** množství odpadní vody přitékající na čistírnu odpadních vod v hodnotách  $Q_{24}$  (průměrný denní průtok v l/s) a  $Q_{\max}$  (maximální měsíční průtok v  $\text{m}^3/\text{měsíc}$ ).

**3.3 Kapacita ČOV dle projektu:** množství odpadních voda, na které je čistírna odpadních vod dimenzována dle projektu v hodnotách  $Q_{24}$  (průměrný denní průtok v l/s) a  $Q_{\max}$  (maximální měsíční průtok v  $\text{m}^3/\text{měsíc}$ ).

### 3.1.4 Údaje o jakosti vypouštěných odpadních vod

**Mezi hodnotící údaje patří:**

**4.1 Hodnoty dosahované na odtoku:** do příslušných kolonek se zapíše přípustné a maximální hodnoty znečištění, které jsou obsaženy ve vyčištěné odpadní vodě. Sledované veličiny jsou vypsány v energetickém dotazníku a jsou shodné s Nařízením vlády č. 61/2003 Sb. Veškeré hodnoty se zapíše v mg/l.

**4.2 Limity nařízeny Vodoprávním úřadem:** pokud Vodoprávní úřad stanoví jiné limity pro vypouštěné vyčištěné odpadní vody, tak se do příslušných kolonek tyto limity zapíše.

**4.3 Přídavné čištění:** Vodoprávní úřad může nařídit odstraňování fosforu nebo dusíku z odpadních vod, i když to Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. pro ČOV do 2000 EO přímo nevyžaduje. V takovém případě se označí nutrient, který se musí odstraňovat.

**4.4 Limity  $P_{\text{celk}}$  a  $N_{\text{celk}}$  nařízeny vodoprávním úřadem:** zde se to příslušných kolonek zapíše limity, které stanovil Vodoprávní úřad jako limitní hodnoty pro odtok z ČOV.

**4.5 Hodnoty  $P_{\text{celk}}$  a  $N_{\text{celk}}$  na odtoku z ČOV:** zde se do příslušných kolonek zapíše skutečné hodnoty fosforu a dusíku, které jsou na odtoku z čistírny odpadních vod. Veškeré údaje se zapisují v mg/l.



### 3.1.5 Objekty a strojní zařízení

V tomto ukazateli jsou vypsány některé z objektů na čistírně odpadních vod a jejich strojní zařízení. U každého zařízení se vypíše stáří zařízení, údržba strojního zařízení (označí se číslem dle odpovídajícího ukazatele viz poslední řádek), počet poruch za rok, účinnost čerpadla v procentech, počet provozních, počet rezervních zařízení a spotřeba elektrické energie u každého zařízení v kW/kus. V kolonce ostatní zařízení může zájemce vypsát i jiná strojní zařízení, která se významně podílejí na spotřebě elektrické energie na čistírně odpadních vod.

#### Mezi hodnotící údaje patří:

- **Stáří zařízení:** do kolonky se zapíše počet let provozu příslušného zařízení na ČOV. Stáří zařízení se vypíše jak pro provozní, tak pro rezervní zařízení, aby bylo možno zjistit, která zařízení jsou starší a která novější. Počet let se zapíše do kolonky ve tvaru např. X-X-X [roky], kdy počet X vyjadřuje počet příslušného zařízení. V tomto případě tři X znamenají 2 provozní a 1 rezervní např. čerpadlo.
- **Údržba strojního zařízení:** do kolonky se zapíše číslo (viz řádek s hvězdičkou), které nejlépe charakterizuje údržbu strojního zařízení na ČOV. Jsou uvedeny čtyři možnosti s popisem.
- **Počet poruch za rok:** do kolonky se zapíše počet poruch za rok u jednotlivých zařízení. Údaj slouží pro odhalení zařízení, která nepracují v optimálním režimu nebo v neideálních podmínkách, a proto u nich dochází k častým poruchám.
- **Účinnost čerpadla:** do kolonky se zapíše procentuální účinnost čerpadla, která vychází z charakteristik čerpadla a z křivky účinnosti čerpadla. Údaj slouží pro zjištění, zda čerpadlo pracuje v optimálním režimu.
- **Počet provozních:** do kolonky se zapíše počet provozních zařízení.
- **Počet rezervních:** do kolonky se zapíše počet rezervních zařízení.
- **kW/1ks:** do kolonky se zapíše spotřeba elektrické energie vypsanych elektrických zařízení.

**5.1 Čerpací jímka** - stavební řešení a zásady pro navrhování čerpacích stanic: čerpací stanice lze rozdělit podle použitých čerpadel a jejich instalace na šnekové (**šneková čerpadla** na principu Archimedova šroubu) a čerpací stanice s **odstředivými čerpadly**. Ty se pak dle uložení čerpadel dělí na: čerpací stanice se suchou jímkou a čerpací stanice s mokrou jímkou. [15]

Pokud je na čistírnu odpadních vod zajištěn gravitační přítok, tak čerpací stanici navrhovat nemusíme.

**Čerpací stanice se šnekovými čerpadly** - tyto čerpací stanice jsou vhodné v případech, kdy čerpáme velké množství kapaliny do relativně malé výtlačné výšky (cca 10 m). Čerpací stanice sestává principiálně ze sací jímky, šnekového šikmého žlabu, odtokového kanálu, šneku s patním a krčným ložiskem a motoru s převodovkou. [15]

**Čerpací stanice s odstředivými čerpadly** - čerpací stanici tvoří podzemní jímka členěná na mokrou (sací) a suchou, ve které jsou čerpadla a část trubních rozvodů. V případě použití ponorných čerpadel je v tělese čerpací stanice pouze mokrá jímka. Dno jímky musí být vyspádováno k čerpadlu. V nadzemní části ČS je rozvodna, případně u větších čerpacích stanic strojovna vzduchotechniky a místnost obsluhy. Jsou zde rovněž vyvedeny měřicí a ovládací prvky. Návrh objemu čerpací jímky je nutno doložit výpočtem. Havarijní hladina má být navržena tak, aby zajišťovala určitou časovou rezervu pro případ výpadku čerpání. [15]

**5.2 Aktivační nádrž** - aktivační proces je dnes nejrozšířenějším způsobem čištění odpadních vod v aerobních podmínkách. Princip biologického čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. V základním uspořádání přitéká surová odpadní voda (příp. odpadní voda po mechanickém čištění) do aktivační nádrže, kde se mísí s recirkulovaným (vratným) kalem. Organické látky, které jsou zdrojem organického uhlíku a energie pro růst buněk se přeměňují na novou buněčnou hmotu a oxidují se na konečné produkty, především oxid uhličitý a vodu. Obsah aktivační nádrže nazýváme **aktivační směs** (směs aktivovaného kalu a čištěné odpadní vody). Koncentrace aktivační směsi se vyjadřuje jako sušina nerozpuštěných látek, její organický podíl se stanovuje jako ztráta žíháním. Aktivovaný kal převážně tvoří mikroorganismy a nižší organismy (prvoci), dále pak inertní nerozpuštěné látky a nerozložitelné organické látky. Z aktivační nádrže odtéká aktivační směs do dosazovací nádrže, kde dochází k oddělení aktivovaného kalu od biologicky vyčištěné vody. Vyčištěná voda odtéká do recipientu přímo nebo přes další čistící stupeň (terciální stupeň - dočištění). Zahuštěný kal se z dosazovací nádrže vrací zpět do aktivace jako **vratný kal** k dosažení potřebné koncentrace mikroorganismů v aktivační nádrži. Protože mikroorganismy se v aktivačním procesu množí, je nutné přebytečnou biomasu ze systému odtahovat jako **přebytečný sekundární biologický kal**. V optimálních podmínkách kultivace získáme aktivovaný kal ve formě dobře flokujících a sedimentujících vloček. Tvorba vloček není bezpodmínečně nutná pro účinné odstranění organické hmoty, ale je nutná pro získání čirého odtoku vyčištěné vody a dostatečně zahuštěného vratného kalu. [15]

**Základní typy aktivačního procesu** - v konvenčních aktivačních systémech, tj. s procesem odstraňování organických látek s organickým uhlíkem a oxidací podílu dusíkatých sloučenin na dusík dusičnanový, se odpadní voda a vratný kal směšují ve vtokové části aktivační nádrže, což je běžné uspořádání u malých čistíren. Protože toto technické řešení je u velkých čistíren drahé, byla postupně vyvinuta celá řada modifikací. V současné době, kdy zvyšováním obsahu dusíku a fosforu v povrchových vodách dochází k porušování biologické rovnováhy ve vodě, narůstá potřeba důslednějšího odstraňování nutrientů, tj. především dvou výše uvedených prvků - dusíku a fosforu. [15]

**Aerační systém** - sestává z dmychárny a vlastního aeračního systému instalovaného na dně aktivace (konvenční aktivace nebo nitrifikace). Aerace může být pneumatická nebo mechanická. K mechanickým aerátorům, které se stále provozují na čistírnách odpadních vod, patří především horizontální aerační válce (KESSENERY) a vertikální aerátory -BSK rotory. Pneumatickou aeraci dělíme na:

- **hrubobublinné systémy** - instalují se např. do odplyňovacích sekcí aktivace; zhotovené z jedné trubky nebo sestavy trubek dle velikosti nádrže; otvory vrtané do trubky mají průměr minimálně 10 mm; procento využití kyslíku z dmýchaného vzduchu je minimální - cca 3-6 %,
- **středobublinné systémy** - používaly se před aplikací jemnobublinných aeračních systémů v provzdušňování aktivace; aerační rošty tvořily trubky, které měly řady otvorů směřované pod úhlem 60° ke dnu nádrže o průměru 3-6 mm; procento využití kyslíku z dmýchaného vzduchu je cca 7 %,
- **jemnobublinné systémy** - jejich instalace začala v našich podmínkách po roce 1990; jemnobublinná aerační zařízení se rozdělují podle použitých materiálů - na plastové (EPDM, PE atd.) a keramické průlničité materiály, dále podle tvaru aeračních elementů na diskové, oválné, kopulovité atd. a dle způsobu instalace aeračního roštu nádrži na systémy se sloupcovou aerací, celodnové systémy a systémy vytvářející cirkulační proudění (aerační rošt je umístěn v nádrži při její jedné stěně); procento využití kyslíku z dmýchaného vzduchu se pohybuje podle plošné hustoty a hloubky uložení aeračních elementů (3 až 6 m) v rozmezí 18 až 30 % pro standardní oxygenační kapacitu (stanoveno na čisté vodovodní vodě). [15]

**Dmychárna** - vybavuje se dmychadly v sestavě x provozních + jedno záložní. Dmychadla bývají napojena na společný výtlak tak, aby bylo možno prostřednictvím uzavíracích ventilů propojovat výtlak libovolného dmychadla do určené provozované aerační nádrže. Výkon dmychadel se u nových a větších čistíren řídí frekvenčním měničem dle aktuální koncentrace rozpuštěného kyslíku v oxické nádrži aktivace. Instalace řízení dodávky

vzduchu do systému se doporučuje pro čistírny s více než 2000 připojenými obyvateli. Provozovatel kontroluje a udržuje dmychadla pravidelně podle předpisů výrobce. [15]

**5.3 Uskladňovací nádrž** - uskladňovací nádrže se používají především v kalovém hospodářství čistíren odpadních vod. V uskladňovacích nádržích je shromažďován stabilizovaný kal z vyhnívacích nádrží. Nádrže slouží k vyrovnání výkyvů mezi produkcí a zpracováním stabilizovaného kalu. Ukončují se zde metanizační procesy, kal se v nich zahušťuje a odděluje od vrstev kalové vody, kterou lze odčerpát. [17]

Uskladňovací nádrž je otevřená nádrž válcového tvaru s plochým dnem. Základním technologickým vybavením jsou kalová potrubí a armatury pro přívod a odtah kalu, potrubí havarijního přepadu. Uskladňovací nádrž může být vystrojena vrtulovým míchadlem pro mechanické míchání nebo vzduchovým potrubím pro pneumatické míchání kalu, příp. oběma. Rovněž může být vystrojena zařízením pro odtah stratifikované kalové vody. Uskladňovací nádrže mají buď vlastní strojovnu, nebo jsou napojeny na strojovnu vyhnívacích nádrží. Ve strojovně jsou kalová čerpadla, potrubí, armatury a měření pro zajištění bezchybné funkce. [17]

**5.4 Ostatní zařízení** - pokud se na čistírně odpadních vod vyskytují i jiná zařízení, která se významně podílejí na spotřebě elektrické energie, tak se zapíší do dotazníku.

### 3.1.6 Ekonomické ukazatele

**Mezi hodnotící údaje patří:**

**6.1 Provozní koncentrace kyslíku při nitrifikaci:** do kolonky se zapíše hodnota provozní koncentrace kyslíku v aktivační nádrži. Tato hodnota se měří kyslíkovou sondou, a pokud klesne pod požadovanou hodnotu, tak se automaticky aktivuje aerační systém, který koncentraci kyslíku opět navýší na požadovanou hodnotu.

Koncentrace rozpuštěného kyslíku se sleduje v aktivačních nádržích. Obecně se doporučuje udržovat koncentraci kyslíku 2 mg/l, která zaručuje plné oxické podmínky prostředí, které umožňují odstraňování organických látek a nitrifikaci oxidovatelného podílu dusíku. Pod koncentrací rozpuštěného kyslíku pod 1,5 mg/l lze již pozorovat částečnou inhibici nitrifikace. Při poklesu koncentrace rozpuštěného kyslíku pod 0,5 mg/l může docházet uvnitř vloček aktivovaného kalu k anoxickým podmínkám a tím i k simultánní nitrifikaci a denitrifikaci. [15]

**6.2 Spotřeba elektrické energie na ČOV:** do kolonky se zapíše spotřeba elektrické energie na čistírně odpadních vod v kWh/rok. Údaj slouží pro porovnání spotřeby elektrické energie u velikostně podobných ČOV.

Spotřeba elektrické energie závisí na používané technologii a konstrukci ČOV. Provoz větších čistíren odpadních vod je náročnější i na spotřebu elektrické energie, protože zabezpečuje funkci točivých strojů počínaje čerpáním odpadních vod na přítoku, fungování česlí, lapáku písku, dmychadel, dalších čerpadel, kalolisu, popřípadě dekantací odstředivky. Určitý objem elektrické energie spotřebuje i technické zabezpečení, regulace, měření, osvětlení atd. Jedním z důležitých parametrů spotřeby elektrické energie a následných nákladů je objem přiváděných odpadních vod a také objem balastních vod, které se nezaplatňují u producentů. Tyto vody se podílí na zbytečném přečerpávání objemu vod a tak zvyšují spotřebu elektrické energie, opotřebení techniky a technologií, náklady na opravy, servis atd. V některých případech se pro účely vytápění spotřebovává bioplyn získaný přímo z technologického procesu na ČOV. [15]

**6.3 Spotřeba elektrické energie na kg BSK<sub>5</sub>:** do kolonky se zapíše hodnota spotřeby elektrické energie, která se spotřebuje na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub>. Hodnoty se dá dosáhnout jednoduchým výpočtem, kdy se spotřeba elektrické energie vydělí odstraněným znečištěním ve formě BSK<sub>5</sub>.

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek v oxickém prostředí biochemickou oxidací organických látek ve vodě. Vliv biochemicky oxidovatelných anorganických látek se obvykle eliminuje. Výsledky se vyjadřují v mg/l. Hodnota BSK závisí na době inkubace. BSK na  $n$  dní se označuje BSK $_n$ . Stanovení se provádí v uzavřených lahvičkách při teplotě 20 °C a ve tmě, aby nedocházelo k fotosyntetické asimilaci event. přítomných řas, při níž se produkuje kyslík, který by snižoval hodnotu BSK. Úplná biochemická oxidace organických látek obsažených ve splaškových vodách trvá při standardní metodě asi 20 dní. Tato doba je však pro praktickou upotřebitelnost výsledků příliš dlouhá. Proto byla zvolena jednotná inkubační doba 5 dní. Výsledek se označuje jako pětidenní biochemická spotřeba kyslíku se zkratkou BSK<sub>5</sub>. [15]

**6.4 Spotřeba elektrické energie na 1 m<sup>3</sup> OV:** do kolonky se zapíše hodnota spotřeby elektrické energie, která se spotřebuje na vyčištění 1m<sup>3</sup> odpadní vody. Hodnoty se dá dosáhnout jednoduchým výpočtem, kdy se spotřeba elektrické energie vydělí objemem vyčištěných odpadních vod.

**6.5 Spotřeba elektrické energie na EO:** do kolonky se zapíše hodnota spotřeby elektrické energie na jednoho ekvivalentního obyvatele. Hodnoty se dá dosáhnout jednoduchým výpočtem, kdy se spotřeba elektrické energie vydělí počtem ekvivalentních obyvatel připojených na čistírnu odpadních vod.

### 3.1.7 Řízení provozu čistírny odpadních vod

Růst ceny pracovních sil a nároky na kvalitu výroby, efektivnost a ochranu životního prostředí na přelomu 20. a 21. století vyvolaly potřebu automatizace technologických procesů, jejichž cílem bylo zkvalitnit řízení a odstranit nedokonalého lidského chování v této oblasti. Rozvoj techniky, zejména výpočetních prostředků a moderních datových přenosů, umožnil nebývalé rozšíření průmyslové řídicí techniky, a to i v oborech, v nichž to ještě nedávno bylo nepředstavitelné nebo neekonomické. [15]

**Automatizace** - proces, kterým se rozhodovací a řídicí činnost člověka nahrazuje činností různých přístrojů a zařízení. Jedním z prostředků automatizace je automatická (samočinná) regulace. [15]

**Důvody a význam automatizace:**

- úspora lidské práce (bezpečnost, směnnost apod.),
- zvýšení kultury obsluhy,
- optimalizace podmínek provozu - snížení nákladů na opravy a údržbu,
- snížení energetické náročnosti procesu čištění,
- zvýšení účinnosti mechanicko - biologického čištění zejména u čistíren, které již pracují na redukci nutrietů - N a P,
- možnost vyššího stupně řízení technologického procesu (např. centralizací více malých celků). [15]

**Automatická regulace** - samočinné udržování daných fyzikálních případně chemických veličin na hodnotách, které jsou konstantní nebo proměnné v závislosti na čase nebo jiné fyzikální případně chemické veličině. Každý regulační obvod je obecně tvořen regulovanou soustavou a regulátorem. [15]

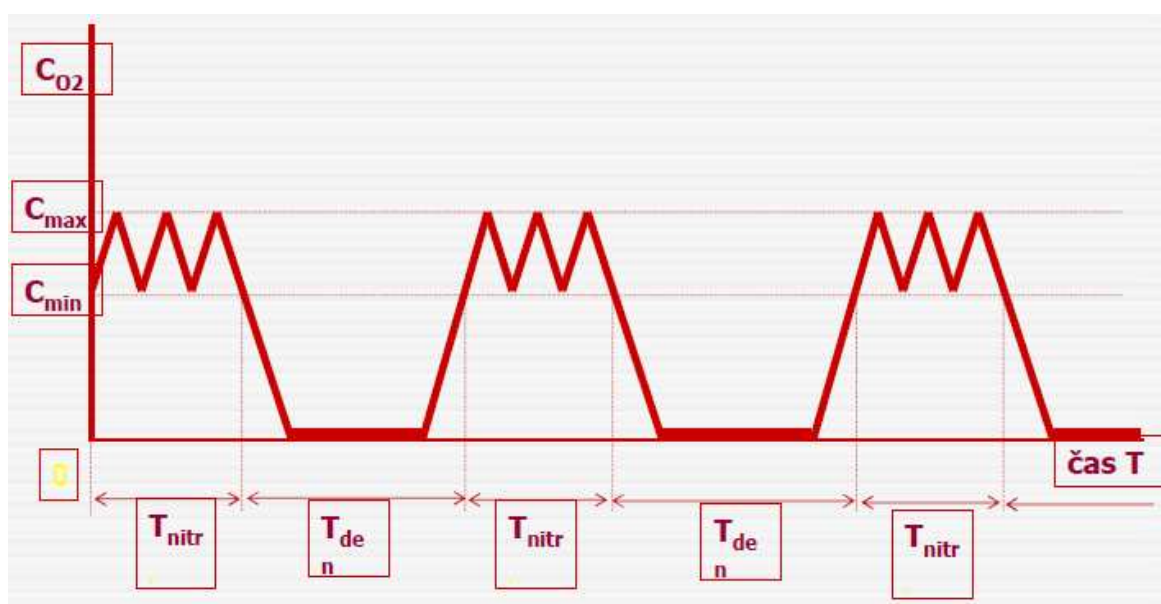
**Automatizace řízení technologického procesu** čištění odpadních vod se nemůže zaměřovat s automatizací provozu ČOV jako celku. [15]

**Automatizace provozu** spočívá v řízení jednotlivých částí provozu automaticky bez zásahu člověka. Řídicí a kontrolní systém předává operátorovi údaje o provozu zařízení a měřených parametrech procesu a umožňuje mu dálkově ovládat jednotlivá zařízení. Řídicí a kontrolní systém signalizuje poruchy a automaticky kontroluje provoz čistírny odpadních vod. [15]

Pro každou čistírnu odpadních vod bez ohledu na stupeň automatizace je velmi podstatná kvalifikovanost a iniciativa obsluhy. I čistírna řízená automatizovaným

systémem se musí podrobovat pravidelné kontrole vizuální, pachové apod. Zatímco mechanické závady, průtokové abnormality apod., tedy hodnoty a údaje, které lze přesně měřit, zaznamenaná automatizovaný systém spolehlivě; výkyv biologických procesů čištění a jejich variabilitu spolehlivěji uhlídá kvalifikovaná obsluha. [15]

**Řízení provozu přerušované nitrifikace a denitrifikace:** Jedná se o nejjednodušší systém odstraňování dusíku pro běžné provozní podmínky, vykazující poměrně uspokojivé hodnoty na odtoku. Při správné volbě reakční doby umožníme vznik vhodných podmínek pro nitrifikaci i denitrifikaci. Ve většině případů nelze spolehlivě monitorovat konec denitrifikační fáze pomocí měření (ORP, pH, přímé), proto jsou pro oba procesy stanoveny časové intervaly. Intervaly zabrání nežádoucímu příliš častému střídání nitrifikační a denitrifikační fáze. [21]



Obr.17: Časový průběh přerušované nitrifikace a denitrifikace [21]

**Kde:**  $C_{O_2}$  - koncentrace kyslíku,  $C_{max}$  - maximální koncentrace kyslíku,  $C_{min}$  - minimální koncentrace kyslíku,  $T_{nitr}$  - čas pro nitrifikaci,  $T_{den}$  - čas pro denitrifikaci.

Maximální a minimální koncentrace kyslíku v aktivační nádrži je dána složením odpadní vody. Normou doporučená hodnota rozpuštěného kyslíku v aktivační nádrži ( $C_{min}$ ) je 2 mg/l.  $C_{max}$  může dosahovat i hodnoty 8 mg/l a vyšší. Hodnota rozpuštěného kyslíku při nitrifikaci závisí na provozu ČOV a také na dané technologii čištění. Při poklesu hodnoty rozpuštěného kyslíku pod 0,5 mg/l může docházet k anoxickým podmínkám. Při denitrifikaci hodnota rozpuštěného kyslíku rychle klesá až do okamžiku, kdy denitrifikační

bakterie začnou spotřebovávat kyslík z dusičnanů a tím se mění dusičnany na elementární dusík.

### **Mezi hodnotící údaje patří:**

**7.1 Časové řízení:** jedná se o nejzákladnější řízení nitrifikace a denitrifikace v aktivační nádrži. Řízení probíhá tak, že časový spínač v určitých intervalech zapíná a vypíná dmychadla, která do aktivace přivádí vzduch. Systém spínání je řízen pouze časově, což neefektivně reaguje na změny koncentrace kyslíku v aktivační nádrži. Tento systém se již na moderních čistírnách odpadních vod nepoužívá.

**7.2 Kyslíková sonda:** kyslíkové elektrody slouží ke stanovení aktuální koncentrace kyslíku a to jak při provozním měření (především na ČOV), tak při laboratorním měření. Kyslíková sonda hlídá koncentraci rozpuštěného kyslíku v aktivační nádrži v procesu nitrifikace na zvolené hodnotě. Normou doporučená hodnota rozpuštěného kyslíku v aktivaci se pohybuje okolo 2 mg/l a pokud dojde k poklesu, tak kyslíková sonda sepne dmychadla, která začnou s provzdušňováním.

**7.3 Dmychadla s frekvenčním měničem:** integrovaný frekvenční měnič výrazně zvyšuje výkon a flexibilitu dmychadel. Je možné nastavit přesný požadovaný výkon dle požadavku jak v ručním, tak i v plně automatickém režimu. Patentovaný inteligentní kontrolní systém udržuje tlak a objemový průtok konstantní a zajišťuje stabilní provoz. Regulační rozsah 0-100 Hz, tedy až 6000 ot./min zajišťuje vysoce stabilní výkon. Zařízení jsou vybavena ochrannými funkcemi, jakými jsou například snímání teploty, proudů a nemusí být vybavena bezpečnostními ventily. Regulací otáček je trvale snížena hladina hluku na nejnižší úroveň a v součinnosti s integrovanými tlumiči nejsou nutná další protihluková opatření. [18]

**7.4 Dvouotáčková dmychadla:** dmychadlo slouží jako vlastní zdroj přetlaku (podtlaku). Jedná se o dmýchadlo s trojzubými rotačními písty (rotory). Hřídele rotačních pístů jsou uloženy ve valivých ložiskách a vzájemnou polohu rotorů zabezpečuje ozubené soukolí. Ložiska a ozubené soukolí jsou mazány olejem. Pracovní prostor pístů není mazaný. Sací a výtlačná příruba dmýchadla je napojená na sací a výtlačnou část soustrojí, vstupní hřídel na pohonnou jednotku. [26]

**7.5 Řídící systémy:** jedná se o sofistikované systémy, kdy čistírna odpadních vod je opatřena řídicí jednotkou, která okamžitě reaguje na změny se přítok odpadních vod a podle skutečného zatížení upravuje čistící cyklus, čímž je zajištěno, jak navýšení případné hydraulické kapacity v případě deště, tak snížení výkonu, šetření energie a regenerování kalu v případě nižšího nátoku. Řídící jednotka je uzpůsobena dálkovému přenosu dat a může tak být ovládána z dispečerského centra. [19]



**Přenos dat:** základem spolehlivého telemetrického systému jsou dobře fungující komunikační kanály, kterými jsou systémy ASŘTP (automatický/automatizovaný systém řízení technologických procesů) jednotlivých technologických objektů napojeny do telemetrické sítě. Dnešní složité technologické soustavy pak vyžadují, aby byla zajištěna nejen komunikace mezi lokálním PC a centrálním dispečerským pracovištěm, ale aby komunikace probíhala i mezi jednotlivými lokálními automaty navzájem. Dále je nezbytné, aby komunikační systém umožňoval přenos téměř libovolného komunikačního protokolu po jedné přenosové síti. [15]

**Vlastní komunikační systémy je možno z hlediska funkce rozdělit na dva druhy:**

**Systémy ON-LINE** - spojení mezi centrem a lokálním systémem ASŘTP či dvěma nebo několika lokálními systémy je trvalé, přenos dat je zajištěn adresnou komunikací v jednotné paketové síti. Mezi takovéto prostředky patří rádiové datové sítě nebo komunikační prostředky na bázi GSM, GPRS apod.

**Systémy OFF-LINE** - spojení funguje po nezbytnou dobu, pak se komunikační kanál rozpojí. Mezi takovéto systémy patří např. klasický telefonní modem, GSM modemové přenosy, přenosy pomocí SMS zpráv apod. [15]

**Formy dálkového řízení provozů ČOV:** aby bylo možné dodržet a dále rozvíjet požadavek integrace různých lokálních řídicích systémů, měl by se dispečerský systém provozované technologické soustavy založit na standardních a otevřených subsystémech, kde jednotlivé dále definované části telemetrického systému tvoří samostatné standardními rozhraními na sebe navazující soustavy:

- dispečerské centrum: počítač, vizuální software včetně nástrojů pro archivaci a následnou analýzu historických dat,
- komunikační systém: soubor zařízení umožňující vzájemné propojení různých zařízení (řídicích systémů),
- lokální systémy ASŘTP: podřízené stanice, PLC automaty, snímače neelektrických veličin apod., zajišťující autonomní ovládání a řízení spolu souvisejících technologických částí. [15]

**7.6 Jiné:** do kolonky se vypíše druh řízení provozu čistírny odpadních vod, který není vypsán v předchozích bodech. Tento druh řízení se popíše v kolonce popis.

### 3.1.8 Pomocné ukazatele

#### Mezi hodnotící údaje patří:

**8.1 Stáří kanalizace:** do kolonky se zapíše stáří nejstarších úseků kanalizace, které díky svému stáří a netěsnostem umožňují naředění odpadní vody (balastní vody).

**8.2 Typy kanalizace:** zde se označí typ kanalizační soustavy. Pokud je kanalizační soustava tvořena více typy, označíme všechny, které jsou přítomny v kanalizační soustavě.

#### Rozlišují se tři systémy stokových sítí:

- **stoková síť jednotné soustavy**, která společně odvádí odpadní a dešťové vody,
  - **stoková síť oddílné soustavy** tvořené systémem stok, obvykle dvou, z nichž jedna odvádí odpadní a druhá dešťové vody,
  - **stoková síť modifikované soustavy** tvořené systémem stok, obvykle dvou, z nichž jedna odvádí splaškové a průmyslové odpadní vody i znečištěné dešťové vody (při prvním oplachu povrchu území) a druhá zbylý podíl neznečištěných dešťových vod.
- [15]

**Jednotná soustava** je zpravidla ekonomicky a technicky výhodná, nevýhodná je však z hygienického hlediska vzhledem k nezbytnosti užití odlehčovacích komor - objektů na stokové síti nebo v čistírně odpadních vod, které odlehčují systému při dešťových průtocích. Při těchto průtocích voda v odlehčovací komoře přepadá do odlehčovací stoky a odtud do recipientu nebo do dešťové nádrže. I při vysokém naředění splaškových vod vodami dešťovými dochází k fekálnímu a jinému znečištění recipientu. Za odlehčovací komorou pokračuje stoka k čistírně zmenšeným profilem. [15]

V **oddílné soustavě** se splaškové, případně splaškové a průmyslové vody, nesměšují s vodou dešťovou. V důsledku toho v ulici vedou dvě nebo více stok a každá odvádí jiné odpadní vody. Pořizovací náklady jsou vyšší, fekální znečištění však nekontaminuje recipient a dešťové vody hydraulicky nezatěžují ČOV. V rozptýlené zástavbě, v rovinatém terénu, při vysoké hladině podzemní vody nebo při nepříznivých geologických podmínkách může být místo obvyklých gravitačních stok oddílné splaškové kanalizace vybudována kanalizace **podtlaková nebo tlaková**. [15]

**Podtlakovou** kanalizaci tvoří gravitační kanalizační přípojka z nemovitosti s akumulační šachtou, ve které je osazen vakuový ventil a síť podtlakového potrubí ústící do vakuové stanice s podtlakovými nádobami a vývěvami. Splašky se z akumulačních šachet nasávají do vakuové stanice a odtud se čerpáním nebo pneumaticky dopravují do ČOV. [15]

**Tlakovou** kanalizaci tvoří gravitační přípojka z nemovitosti s čerpacích šachtou s ponorným čerpadlem a síť tlakového sběrného potrubí. Z jednotlivých šachet se voda čerpá do tlakové sítě. Z místa soustředění splaškových odpadních vod se mohou odpadní vody přivádět do ČOV čerpáním nebo pneumaticky, pokud se nevedou gravitačně. [15]

**Pneumatická** doprava splašků, která je méně obvyklá, má proti čerpání tyto výhody: lze dopravovat i velmi znečištěné vody, neboť nejsou v kontaktu s rotujícími součástmi čerpadel, odpadá odvzdušnění a odkalení potrubí, potrubí kopíruje terén v nezámrzné hloubce, splašky jsou provzdušněny. [15]

**Modifikovaná soustava** je např. řešena užitím mělce uložených stok k odvádění dešťových vod a hlouběji uložených stok odvádějících odpadní vody splaškové případně i průmyslové. Dno dešťových stok je propojuje se splaškovými stokami potrubím ústícím do vstupních šachet splaškové sítě. Znečištěné dešťové vody z prvního oplachu povrchu území odtékají z dešťové sítě do splaškových stok. Po zahlcení dešťových stok dochází také k odtoku dešťových vod dešťovými stokami do recipientu. [15]

Při volbě systému stokové sítě je třeba posoudit více hledisek - kromě ekologických, ekonomických a technických je to i hledisko historického vývoje kanalizace v daném odvodňovacím území. Toto posouzení často vede ke kombinaci uvedených systémů. [15]

**8.3 Odchylka balastních vod:** do kolonky se zapíše hodnota balastních vod jako odchylka od průměrného denního přítoku odpadních vod na čistírnu odpadních vod v procentech.

**Balastní vody** jsou definovány jako nežádoucí přítok vody do systému stokových sítí. Některé balastní vody zatěžují systém kanalizace nárazově, jiné mají charakter stálého zatěžování. Zdroji nárazově vypouštěných balastních vod jsou:

- voda podzemní vypouštěná do stokové sítě při provádění staveb z důvodu snižování hladiny,
- podzemní vody,
- voda vypouštěná do stok při havárii vodovodů. [15]

**Zdroji kontinuálně odváděných balastních vod jsou:**

- voda podzemní vypouštěná do stok za účelem trvalého snížení hladiny podzemní vody,
  - voda podzemní vnikající do stokové sítě v důsledku její nevodotěsnosti,
  - voda pitná a užitková vnikající do stok z netěsných vodovodů a domovních instalací.
- Rozhodující příčinou vniku balastních vod do kanalizace je nedostatečná vodotěsnost stokové sítě. [15]

Dle ČSN 756401 má být přítok balastních vod co nejmenší. Přítok do čistírny s průtokem balastních vod větším než 15 % průměrného bezdeštného denního přítoku je nežádoucí.

### **Způsob posouzení balastních vod:**

Základní uplatňovanou metodikou kvantifikace balastních vod je sledování minimálních bezdeštných průtoků  $Q_{ov\ min}$ , kdy se předpokládá, že v době výskytu minimálního denního průtoků (typicky mezi 3-6 hodinou ranní) je průtok ve stoce tvořen pouze vodami balastními  $Q_{bal}$  (je nutné vyloučit noční minima, kdy byl průtok ovlivněn srážkových odtokem). Výhodou metody je její jednoduchost a relativně spolehlivé výsledky pro malé aglomerace, nevýhodou pak fakt, že zejména ve větších městských aglomeracích jsou splaškové vody produkovány i v nočním období a předpoklad průtoků pouze balastních vod není dodržen. [25]

## **3.2 HLAVNÍ UKAZATELE PRO MOŽNOU ENERGETICKOU ÚSPORU**

Hlavní údaje, které byly použity pro vyhodnocení možné úspory elektrické energie na čistírnách odpadních vod, jsou vybrány z ukazatelů **5, 6 a 7**. Pro přesné vyhodnocení hlavních ukazatelů slouží i ukazatele pomocné, které doplňují a zpřesňují zapsané údaje tak, aby bylo možno co nejpřesněji určit příčinu zvýšené spotřeby elektrické energie. Zapsané hodnoty do ukazatelů 5, 6 a 7 se vyhodnotí pomocí vyhodnocovacího formuláře energetického auditu čistíren odpadních vod. Ve vyhodnocovacím formuláři jsou vypsány kritéria hodnocení. Každé kritérium má číslo. Číslo jsou v rozmezí 1 až 4 přičemž hodnocení číslem **1 je nejlepší a číslem 4 je nejhorší**. Po přepsání údajů z energetického dotazníku do vyhodnocovacího formuláře zjistíme, které údaje v příslušných ukazatelích mají špatné hodnocení, a tím se mohou negativně podílet na spotřebě elektrické energie na čistírně odpadních vod. Číslování technických ukazatelů je shodné s číslováním v energetickém dotazníku, aby byla zaručena přehlednost jednotlivých technických ukazatelů. U jednotlivých technických ukazatelů je vždy zapsána jednotka a stanovení technického ukazatele. Jednotka u technických ukazatelů, či údajů slouží k tomu, aby nedošlo k vyplnění kolonky hodnotou v jiných jednotkách. Stanovení u technických ukazatelů slouží pro upřesnění, zda se technický ukazatel stanoví pomocí výpočtu, měření, anebo pouhou instalací zařízení. V dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV se vypsané technické ukazatele stanovují pouze výpočtem (V), anebo samotnou instalací příslušného zařízení (I). Každý z vypsáných ukazatelů na sebe váže další pomocné ukazatele a proto je nutné vypsané ukazatele vyplňovat pečlivě a správně.

### 3.2.1 Hlavní ukazatele z dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV

Tab.7: Technické ukazatele pro objekty a strojní zařízení

#### 5) Objekty a strojní zařízení

Dílčí údaje	Popis	Jednotka	Stanovení
TU 5.1	Čerpací jímka	[-]	I
TU 5.2	Aktivační nádrž	[-]	I
TU 5.3	Uskladňovací nádrž	[-]	I
TU 5.4	Ostatní zařízení	[-]	I

Způsob stanovení:

I-instalace zařízení

Tab.8: Technické ukazatele pro ekonomické ukazatele

#### 6) Ekonomické ukazatele

Dílčí údaje	Popis	Jednotka	Stanovení
TU 6.3	Spotřeba elektrické energie na kg BSK <sub>5</sub>	[kWh/kg BSK <sub>5</sub> ]	V
TU 6.4	Spotřeba elektrické energie na 1m <sup>3</sup> OV	[kWh/1m <sup>3</sup> OV]	V
TU 6.5	Spotřeba elektrické energie na EO	[kW/EO]	V

Způsob stanovení:

V-výpočet

Tab.9: Technické ukazatele pro řízení provozu čistírny odpadních vod

#### 7) Řízení provozu čistírny odpadních vod

Dílčí údaje	Popis	Jednotka	Stanovení
TU 7.1	Časové řízení	[-]	I
TU 7.2	Kyslíková sonda	[-]	I
TU 7.3	Dmychadla s frekvenčním měničem	[-]	I
TU 7.4	Dvouotáčková dmychadla	[-]	I
TU 7.5	Řídicí systém	[-]	I

Způsob stanovení:

I-instalace zařízení

### 3.2.2 Vyhodnocovací formulář energetického auditu ČOV

Hodnocení ve vyhodnocovacím formuláři probíhá tak, že se vybere ohodnocení 1 až 4 dle zapsaných či vypočtených hodnot. Číslo 1 až 4 se zapíše do sloupce „Hodnocení“ a na základě hodnocení se odhalí ukazatele, které nesplňují požadované parametry. Ideální hodnocení je 1 až 2. Hodnocení číslem 3 znamená, že ukazatel je ve špatném stavu a vyžaduje řešení a hodnocení číslem 4 znamená, že ukazatel je ve velmi špatném stavu a potřebuje co nejrychlejší nápravu, anebo řešení. Každý údaj v technickém ukazateli má vypsání svou jednotku, aby nedošlo k vyplnění kolonky v jiných jednotkách, což by mohlo způsobit nepřesné, anebo nemožné zařazení do ohodnocení.

Tab.10: Technické ukazatele pro objekt čerpací jímka

TU	5.1 Čerpací jímka	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.1.1	Poměr stáří zařízení	čepadlo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8		[-]
5.1.2	Údržba strojního zařízení	čepadlo	dle výrobce	vyjimečně	po poruše	ne		[-]
5.1.3	Počet poruch za rok	čepadlo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
5.1.4	Účinnost čerpadla	čepadlo	> 50	40-50	30-40	< 30		[%]

Tab.11: Technické ukazatele pro objekt aktivací nádrž

TU	5.2 Aktivací nádrž	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.2.1	Poměr stáří zařízení	dmychalo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8		[-]
5.2.2	Údržba strojního zařízení	dmychalo	dle výrobce	vyjimečně	po poruše	ne		[-]
5.2.3	Počet poruch za rok	dmychalo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]

Tab.12: Technické ukazatele pro objekt uskladňovací nádrž

TU	5.3 Uskladňovací nádrž	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.3.1	Poměr stáří zařízení	čepadlo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8		[-]
		dmychalo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8		[-]
5.3.2	Údržba strojního zařízení	čepadlo	dle výrobce	vyjimečně	po poruše	ne		[-]
		dmychalo	dle výrobce	vyjimečně	po poruše	ne		[-]
5.3.3	Počet poruch za rok	čepadlo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
		dmychalo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
5.3.4	Účinnost čerpadla	čepadlo	> 50	40-50	30-40	< 30		[%]

Tab.13: Technické ukazatele pro ostatní energeticky zajímavá zařízení

TU	5.4 Ostatní zařízení	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.4.1	Poměr stáří zařízení		< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8		[-]
5.4.2	Údržba strojního zařízení		dle výrobce	vyjimečně	po poruše	ne		[-]
5.4.3	Počet poruch za rok		0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
5.4.4	Účinnost zařízení		> 50	40-50	30-40	< 30		[%]

Poměr stáří zařízení je v rozmezí méně jak 0,2 až více jak 0,8. Tohoto hodnocení dosáhneme výpočtem, kdy skutečnou dobu použití zařízení vydělíme teoretickou životností zařízení. Teoretická životnost zařízení pro čerpadla se uvažuje 5-15 let, pro dmychadla 7-12 let. Pro výpočet použijeme maximální hodnotu teoretické životnosti.

Tab.14: Technické ukazatele pro ekonomické ukazatele

TU	Ekonomické ukazatele	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
		1	2	3	4		
6.3	Spotřeba elektrické energie na kg BSK <sub>5</sub>	0-2,5	2,5-5,0	5,0-7,5	7,5-10,0		[kWh/kg BSK <sub>5</sub> ]
6.4	Spotřeba elektrické energie na 1m <sup>3</sup> OV	0-0,75	0,75-1,5	1,5-2,25	2,25-3,0		[kWh/1m <sup>3</sup> OV]
6.5	Spotřeba elektrické energie na EO	0-5,5	5,5-11,0	11,0-16,5	16,5-22,0		[kW/EO]

Spotřeba elektrické energie je vypsána v různých rozmezích, a to v závislosti, zda se jedná o přepočten na kg BSK<sub>5</sub>, 1m<sup>3</sup> OV nebo na ekvivalentního obyvatele. Rozmezí hodnot je odečteno z grafů, které vytvořila Britská firma Meniscus Systems Limited v rámci studie „Energetický benchmarking ČOV“. Zdrojem dat je databáze skupiny Energie AG Bohemia publikovaných v: Databáze ČOV provozovaných společnostmi skupiny Energie AG Bohemia, 2007-2009. Grafy a data, ze kterých byly hodnoty použity do vyhodnocovacího formuláře, jsou podrobně popsány v kapitole: **2.7.3 Benchmarking ČOV provozovaných skupinou Veolia Voda ve střední Evropě**. Ekonomické ukazatele slouží pro prvotní náznak k tomu, že je na čistírně odpadních vod zvýšená spotřeba elektrické energie.

Tab.15: Technické ukazatele pro řízení provozu na ČOV

TU	Řízení provozu čistírny odpadních vod	Ohodnocení	Hodnocení	Jednotka
7.5	Pomocí řídicích systémů	1		[-]
7.4	Pomocí dvouotáčkových dmychadel	2		[-]
7.3	Pomocí dmychadel s frekvenčním měničem	3		[-]
7.2	Pomocí kyslíkové sondy	3		[-]
7.1	Pomocí časového řízení	4		[-]

### 3.3 KONKRÉTNÍ ÚDAJE Z ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Pro ověření praktické části diplomové práce byly získány údaje z čistírny odpadních vod nacházející se na jižní Moravě. Po vyplnění dotazníku získanými údaji nebyl dotazník vyplněn úplně, ale i tyto získané informace mohly určit příčinu zvýšené spotřeby elektrické energie a doporučit možná řešení.

**Získané údaje:** čistírna odpadních vod má připojených cca 513 ekvivalentních obyvatel, čistí městské/komunální odpadní vody a v okolí se nenachází žádný významný zdroj průmyslových, anebo zemědělských odpadních vod s výjimkou malých vinařů. Způsob



čištění odpadních vod je pomocí predenitrifikace (D-N proces), který je podrobně popsán v kapitole **3.1.2 Údaje o vypouštěných odpadních vodách a způsob čištění OV**. Přítok na ČOV je  $Q_{24} = 0,48 \text{ l/s}$  a  $Q_{\max} = 1266,3 \text{ m}^3/\text{měsíc}$ .

Průměrné hodnoty znečištění na odtoku z ČOV:

pH	= 7,4 mg/l
CHSK <sub>Cr</sub>	= 21,3 mg/l
BSK <sub>5</sub>	= 2,8 mg/l
NL	= 5,0 mg/l
N-NH <sub>4</sub>	= 0,2 mg/l

Jakost vypouštěných odpadních vod vyhovuje nařízení vlády č. 61/2003 Sb. pro danou velikost čistírny odpadních vod. Stáří zařízení (čerpadla a dmychadla) se pohybuje okolo 9 let. Údržba strojního zařízení je prováděna výjimečně a účinnost čerpadel se pohybuje okolo 50 %. Počet provozních zařízení je 2 a počet rezervních 1. Provozní koncentrace kyslíku při nitrifikaci se pohybuje okolo 4-5 mg/l. Spotřeba elektrické energie na ČOV činí 48.418 kWh/rok. Řízení provozu čistírny odpadních vod je pomocí kyslíkové sondy. Typ kanalizace je klasická gravitační, jednotná soustava a odchylka balastních vod se pohybuje okolo 20 %.

### 3.3.1 Závěrečné vyhodnocení

- Z údajů stáří zařízení se dá vypočítat, že poměr skutečného použití strojního zařízení (čerpadla a dmychadla) ku teoretické životnosti, je pro čerpadla  $9/15 = 0,6$  a pro dmychadla  $9/12 = 0,75$ . Můžeme je tedy zařadit do kategorie č. 3, která má rozmezí 0,5 až 0,8.
- Údržba strojního zařízení je v hodnocení 2 což znamená, že se údržba strojního zařízení provádí výjimečně.
- Účinnost čerpadel můžeme zařadit do kategorie 2 což znamená, že účinnost čerpadel je v pořádku.

Tab.16: Vyhodnocení ukazatelů pro čerpací jímku

TU	5.1 Čerpací jímka	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.1.1	Poměr stáří zařízení	čepadlo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8	3	[-]
5.1.2	Údržba strojního zařízení	čepadlo	dle výrobce	výjimečně	po poruše	ne	2	[-]
5.1.3	Počet poruch za rok	čepadlo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
5.1.4	Účinnost čerpadla	čepadlo	> 50	40-50	30-40	< 30	2	[%]



Tab.17: Vyhodnocení ukazatelů pro aktivační nádrž

TU	5.2 Aktivační nádrž	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.2.1	Poměr stáří zařízení	dmychalo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8	3	[-]
5.2.2	Údržba strojního zařízení	dmychalo	dle výrobce	vyjímečně	po poruše	ne	2	[-]
5.2.3	Počet poruch za rok	dmychalo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]

Tab.18: Vyhodnocení ukazatelů pro uskladňovací nádrž

TU	5.3 Uskladňovací nádrž	Zařízení	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
			1	2	3	4		
5.3.1	Poměr stáří zařízení	čepadlo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8	3	[-]
		dmychalo	< 0,2	0,2-0,5	0,5-0,8	> 0,8	3	[-]
5.3.2	Údržba strojního zařízení	čepadlo	dle výrobce	vyjímečně	po poruše	ne	2	[-]
		dmychalo	dle výrobce	vyjímečně	po poruše	ne	2	[-]
5.3.3	Počet poruch za rok	čepadlo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
		dmychalo	0-1	2-3	4-5	> 6		[-]
5.3.4	Účinnost čerpadla	čepadlo	> 50	40-50	30-40	< 30	2	[%]

- Celkové množství vyčištěné odpadní vody se za rok pohybuje okolo 15.195 m<sup>3</sup> a spotřeba elektrické energie je 48.418 kWh/rok. Pokud vydělíme spotřebu elektrické energie celkovým množstvím odpadní vody, dostaneme spotřebu elektrické energie, která je potřeba na vyčištění 1m<sup>3</sup> odpadní vody.  $48.418/15.196 = 3,18 \text{ kWh/1m}^3 \text{ OV}$ . Tuto hodnotu musíme zařadit do poslední kategorie č. 4, která je v rozmezí 2,25 až 3,0. Po zařazení zjistíme, že spotřeba elektrické energie na vyčištění 1m<sup>3</sup> odpadní vody na čistírně odpadních vod je **velmi vysoká**.

Tab.19: Vyhodnocení ukazatelů pro ekonomické ukazatele

TU	Ekonomické ukazatele	Ohodnocení				Hodnocení	Jednotka
		1	2	3	4		
6.3	Spotřeba elektrické energie na kg BSK <sub>5</sub>	0-2,5	2,5-5,0	5,0-7,5	7,5-10,0		[kWh/kg BSK <sub>5</sub> ]
6.4	Spotřeba elektrické energie na 1m <sup>3</sup> OV	0-0,75	0,75-1,5	1,5-2,25	2,25-3,0	4	[kWh/1m <sup>3</sup> OV]
6.5	Spotřeba elektrické energie na EO	0-5,5	5,5-11,0	11,0-16,5	16,5-22,0		[kW/EO]

- Další významný ukazatel je řízení provozu čistírny odpadních vod. V tomto případě se na čistírně odpadních vod používá kyslíková sonda. Kyslíkovou sondu zařadíme do kategorie č. 3.

Tab.20: Vyhodnocení ukazatelů pro řízení provozu na ČOV

TU	Řízení provozu čistírny odpadních vod	Ohodnocení	Hodnocení	Jednotka
7.5	Pomocí řídicích systémů	1		[-]
7.4	Pomocí dvouotáčkových dmychadel	2		[-]
7.3	Pomocí dmychadel s frekvenčním měničem	3		[-]
7.2	Pomocí kyslíkové sondy	3	3	[-]
7.1	Pomocí časového řízení	4		[-]

- Posledním důležitým faktorem zvýšené spotřeby elektrické energie je odchylka balastních vod. Ze získaných údajů víme, že odchylka je 20 %. Dle ČSN 756401 je více jak 15 % nežádoucí a proto se takto vysoké množství balastních vod projevuje i na zvýšené spotřebě elektrické energie.

### 3.3.2 Doporučení pro konkrétní čistírnu odpadních vod

Z dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV do 2000 EO vyplývá, že spotřeba elektrické energie na vyčištění 1m<sup>3</sup> odpadní vody je **velmi vysoká**. Z tohoto důvodu je potřeba přikročit k možným opatřením, kterými se dá dosáhnout úspory elektrické energie a významně snížit náklady na čištění odpadní vody.

Doporučení ohledně strojního zařízení je takové, že by se **strojní zařízení mělo vyměnit** za novější a tedy i úspornější typy. Výměna za novější typy je sice nákladná, ale vzhledem k tomu, že čerpadla a dmychadla jsou nejvýznamnějšími odběrateli elektrické energie, je návratnost investice rychlá. Čistírna odpadních vod má na odtoku velmi dobré hodnoty znečištění a proto není nutná tak vysoká koncentrace rozpuštěného kyslíku při nitrifikaci. **Snížením množství koncentrace kyslíku při nitrifikaci** ušetříme elektrickou energii pro dmychadla. Dalším možným řešením úspory elektrické energie je výměna již zastaralé kyslíkové sondy za **řídící systém**. Řídící systémy jsou sofistikované a mohou se významně podílet na úspoře elektrické energie. Vlastnosti řídicích systémů jsou podrobně popsány v kapitole 2.4.2 Konkrétní příklad využití systému Fuzzy-Logic a 2.4.4 Konkrétní příklad využití systému HACH-LANGE.

Poslední a neméně významné doporučení jak snížit náklady na čištění odpadních vod, je zamezit velkému přítoku **balastních vod** na čistírnu odpadních vod. Přítok balastních vod ve 20% odchylce od průměrného denního přítoku značí, že je stoková soustava ve špatném stavu a potřebuje buď rekonstrukci, nebo sanaci. Investice do stokové soustavy by byly vysoké, ale jednak bychom snížili množství přitékajících balastních vod na ČOV a tím ušetřili elektrickou energii pro čerpadla a zároveň bychom prodloužili životnost stokové sítě.

Ohledně údržby strojního zařízení a účinností čerpadel je vše v pořádku. Hodnocení těchto údajů je 2 a to znamená, že nevyžadují žádná náhlá opatření. U údržby strojního zařízení je ale přesto doporučení pro dodržení pokynů výrobce. Počet dvou provozních a jednoho rezervního zařízení je také v pořádku. Toto sestava odpovídá modernímu řešení.

## 4 ZÁVĚR

Diplomová práce s názvem Kritéria hodnocení energetické náročnosti čistíren odpadních vod se zabývá vymezením vhodných kritérií, která mohou přispět k určení příčiny zvýšené spotřeby elektrické energie na čistírnách odpadních vod a navrhnout možná řešení pro úsporu elektrické energie. V rešeršní části je podrobně popsána problematika energetické optimalizace čistíren odpadních vod, do které spadá jednak popis stávajících trendů u nás i ve světě a dále různé příčiny zvýšené spotřeby elektrické energie na ČOV. Rešeršní část obsahuje i kapitoly, které nastiňují moderní trendy v úspoře elektrické energie, jako jsou např. řídicí systémy pro menší i větší čistírny odpadních vod, ale také možnosti recyklace energie a získávání elektrické energie z biomasy, neboli spalováním vedlejších produktů, které získáváme při čištění odpadní vody. Jedná se zejména o čistírenské kaly. Pro zjištění, zda je čistírna odpadních vod ekonomická a úsporná můžeme využít energetických auditů či benchmarkingů. V České republice tento audit nebo benchmark zatím nebyl vytvořen, ale můžeme využít zkušenosti buď z amerických auditů, anebo z auditů vytvořených západními evropskými zeměmi.

Dosažené cíle diplomové práce spočívají ve vytvoření návrhu energetického dotazníku pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV do 2000 ekvivalentních obyvatel. Dotazník obsahuje 8 bodů, které mohou určit příčinu zvýšeného množství elektrické energie, pokud tomu tak skutečně je. Pro zjištění zda má čistírna odpadních vod zvýšený odběr elektrické energie využívá dotazník data z grafů Britské firmy Meniscus Systems Limited, která provedla energetický benchmarking ČOV na základě dat z roku 2007 publikovaných OFWAT. Data pochází z 243 ČOV provozovaných v rámci skupiny Energie AG Bohemia.

Přínos diplomové práce spočívá ve vytvoření návrhu energetického dotazníku a dále pak vyhodnocovacího formuláře, který ohodnotí jednotlivé údaje. Na základě hodnocení se dá zjistit, které body nesplňují požadované hodnocení v rozmezí 1 až 2 a jsou v hodnocení 3 až 4. V případě že se nějaký údaj ohodnotí číslem 3 až 4 je nutné přikročit k řešení, které bude doporučeno. Pro ověření správnosti dotazníku, byl dotazník vyplněn údaji z již existující čistírny odpadních vod. Po vyplnění dotazníku a následném vyhodnocení ve vyhodnocovacím formuláři bylo zjištěno: ČOV má velmi vysokou spotřebu elektrické energie na vyčištění 1m<sup>3</sup> odpadní vody, má starší strojní zařízení, řízení provozu je zastaralé a má vysoký podíl balastních vod. Všechny tyto skutečnosti se mohou podílet na zvýšeném odběru elektrické energie, a proto bylo zpracováno doporučení, které povede k omezení této spotřeby. Přínos diplomové práce může na mnohých čistírnách odpadních vod odhalit neekonomičnost provozu a zahájit tak trend snížení spotřeby elektrické energie, modernizace ČOV, zefektivnění procesu čištění a využití obnovitelných zdrojů energie. Všechny tyto kroky povedou k úspoře elektrické energie, ochraně přírody a estetice procesů.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Koncepce-energetických-uspor-vyuzivani-energie-a-udrzitelneho-rozvoje.\_*Asio.cz* [online]. 6.9.2012 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/127.koncepce-energetickych-uspor-vyuzivani-energie-a-udrzitelneho-rozvoje>
- [2] Matematické modelování energetické náročnosti ČOV. ŠKORVAN, Ondřej. *Asio.cz* [online]. 28.6.2012 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/105.matematicke-modelovani-energeticke-narocnosti-cov>
- [3] Shi, Cao Ye. *Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Londýn : IWA Publishing, 2011. ISBN 1843393824.
- [4] UHER, Milan. Energetický potenciál odpadních vod. In: *Konference/fin-infrastruktury-prednasky* [online]. 22.2.2012 [cit. 2013-05-30]. Dostupné z: <http://www.vodarenstvi.com/media/konference/fin-infrastruktury-prednasky/Uher,%20ASIO.pdf>
- [5] RACLAVSKÝ, Jaroslav. Dopady stavu stokové sítě na energetickou náročnost ČOV. In: *Energetická náročnost ČOV*. Brno: Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2010, s. 4.
- [6] WIMMER, Michael a RACLAVSKÝ, Jaroslav. Zvyšování efektivity a energetické účinnosti čistíren odpadních vod prostřednictvím FUZZY-LOGIC. In: *Energetická náročnost ČOV*. Brno: Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2010, s. 4.
- [7] Analýza odhaduje nárůst cen elektřiny o desetinu. <http://www.cenyenergie.cz> [online]. 23. 3. 2011 [cit. 2013-10-04]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/nejnovejsi-clanky/analiza-vyvoj-cen-elektriny-po-japonskych-udalostech.aspx>
- [8] KAVALÍR, Petr. SOUČASNÝ STAV V ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI ČOV. In: *Energetická náročnost ČOV*. Brno: Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2010, s. 8.
- [9] RACLAVSKÝ, Jaroslav a Reiner KRZYŻAK-ZELLER. ŘÍDICÍ SYSTÉMY PRO ČOV NA PRINCIPU FUZZY-LOGIC. *AQUALOGIC® – řídicí systém pro ČOV na principu Fuzzy-Logic*. 2011, s. 4.
- [10] DOHÁNYOS, Michal a Josef KUTIL. BIOPLYN – ZDROJ ENERGIE NA ČOV. In: *Energetická náročnost ČOV*. Brno: Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2010, s. 11.

[11] RACLAVSKÝ, Jaroslav a Petr HLUŠTÍK. *VYBRANÉ STATĚ ZE STOKOVÁNÍ A ČOV*. Brno, 2009. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně-Fakulta stavební.

[12] ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD JAKO NÁSTROJ K OCHRANĚ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V ZEMĚDĚLSKÉ PRAXI A NA VENKOVĚ. In: *Množství a kvalita odpadních vod* [online]. Brno, 2007 [cit. 2013-11-14]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf)

[13] Čistírny odpadních vod. *Volba technologie čištění* [online]. 2010 [cit. 2013-11-14]. Dostupné z: <http://www.aquatech.cz/cistirny-odpadnich-vod.html>

[14] WatecoGroup. *Membránové bioreaktory* [online]. 2013 [cit. 2013-11-14]. Dostupné z: <http://www.watecogroup.cz/membranove-bioreaktory-mbr>

[15] *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. Líbeznice u Prahy: Medim, spol. s.r.o., 2004. ISBN 80-239-2528-8.

[16] Aktivační procesy s přerušovanou aerací. In: *Pro-aqua* [online]. 2013 [cit. 2013-11-26]. Dostupné z: <http://www.pro-aqua.cz/aerace.php>

[17] USKLADŇOVACÍ NÁDRŽ VYHNILÉHO KALU. In: *Kk-technology* [online]. 2010 [cit. 2013-11-27]. Dostupné z: [http://www.kk-technology.cz/useruploads/images/vyrobky/16\\_USN\\_se\\_strojovnou.pdf](http://www.kk-technology.cz/useruploads/images/vyrobky/16_USN_se_strojovnou.pdf)

[18] Program výroby zařízení s integrovaným frekvenčním měničem. *Ynna* [online]. 2012 [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.ynna.cz/o-firme-profil-firmy/novinky/30-dmychadla-vyvevy-sbocnim-kanalem-becker>

[19] Řídící systémy. *Topolwater* [online]. 2006 [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://www.topolwater.com/obecni-cov-popis.htm>

[20] Přírodní způsoby čištění povrchových a odpadních vod. *Veronica-ekologický institut* [online]. 2012 [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: [http://www.veronica.cz/dokumenty/prirodni\\_cistení\\_vody.pdf](http://www.veronica.cz/dokumenty/prirodni_cistení_vody.pdf)

[21] HLAVÍNEK, Petr. Aspekty návrhu a řízení provozu ČOV. *Řízení přerušované nitrifikace a denitrifikace*. 2013.

[22] Optimalizace ČOV - RTC (W.T.O.S.). *HACH-LANGE* [online]. 2012 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <http://www.hach-lange.cz/view/content/wtos>

[23] KOLLÁR, Miroslav a Miroslav MATEJOVSKÝ. Optimalizácia procesov riadenia na rekonštruovanej ČOV Bardejov. In: *Rekonštrukcie stokových sietí a čistiarní odpadových vod*. Podbanské, 2013, s. 8. ISBN 978-80-89062-94-2.

[24] O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a nařízení vlády č. 23/2011 Sb. In: *č. 61/2003 Sb.* 2003.

[25] METODICKÁ PŘÍRUČKA POSOUZENÍ STOKOVÝCH SYSTÉMŮ URBANIZOVANÝCH POVODÍ. In: *Balastní vody* [online]. 5/2009 [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: [http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-01052009\\_metodicka\\_prirucka\\_stokovy\\_system\\_090604.pdf](http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-01052009_metodicka_prirucka_stokovy_system_090604.pdf)

[26] Návod k montáži neúplného strojního zařízení-dmychadel. In: *Rotační dmyhadla* [online]. 10/2012 [cit. 2013-12-13]. Dostupné z: [http://kubicekvhs.cz/download/CZ\\_KUBICEK-Navod-na-montaz-dmychadlovehostupne--2012-10.pdf](http://kubicekvhs.cz/download/CZ_KUBICEK-Navod-na-montaz-dmychadlovehostupne--2012-10.pdf)

## SEZNAM TABULEK

Tab.1: Roční spotřeba elektrické energie na ČOV v závislosti na počtu připojených EO .	11
Tab.2: Průměrné koncentrace na výtoku před a po modernizaci na ČOV Rodderweg .....	19
Tab.3: Celkově ušetřené náklady na energii v období únor až prosinec 2006 – 2007 .....	19
Tab.4: Možnosti zvýšení produkce bioplynu (všechny účinnosti jsou vztaženy k celkovému energetickému obsahu surového směsného kalu) .....	30
Tab.5: Energetický potenciál kalu .....	38
Tab.6: Hodnoty BSK <sub>5</sub> v různých průmyslových odvětvích v přepočtu na EO .....	43
Tab.7: Technické ukazatele pro objekty a strojní zařízení .....	62
Tab.8: Technické ukazatele pro ekonomické ukazatele .....	62
Tab.9: Technické ukazatele pro řízení provozu čistírny odpadních vod .....	62
Tab.10: Technické ukazatele pro objekt čerpací jímka .....	63
Tab.11: Technické ukazatele pro objekt akivační nádrž .....	63
Tab.12: Technické ukazatele pro objekt uskladňovací nádrž .....	63
Tab.13: Technické ukazatele pro ostatní energeticky zajímavá zařízení .....	63
Tab.14: Technické ukazatele pro ekonomické ukazatele .....	64
Tab.15: Technické ukazatele pro řízení provozu na ČOV .....	64
Tab.16: Vyhodnocení ukazatelů pro čerpací jímku .....	65
Tab.17: Vyhodnocení ukazatelů pro akivační nádrž .....	66
Tab.18: Vyhodnocení ukazatelů pro uskladňovací nádrž .....	66
Tab.19: Vyhodnocení ukazatelů pro ekonomické ukazatele .....	66
Tab.20: Vyhodnocení ukazatelů pro řízení provozu na ČOV .....	66

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Emisní standardy přípustného znečištění odpadních vod .....	3
Obr.2: Schéma energetických vstupů a výstupů na ČOV .....	5
Obr.3: Průměrné provozní náklady na 98 čistírnách v Rakousku .....	6
Obr.4: Průměrné rozdělení spotřeby energie na čistírně o velikosti 100 000 EO .....	8
Obr.5: Graf rostoucí ceny elektrické energie v ČR .....	9
Obr.6: Reakce na naměřenou hodnotu kyslíku pomocí Fuzzy-Logic .....	15
Obr.7: Příkazy při regulaci čistírny odpadních vod .....	16
Obr.8: Letecký snímek ČOV Rodderweg/SRN .....	17
Obr.9: Průběh různých měřených parametrů v přerušovaném provozu .....	18
Obr.10: Místa možné úspory elektrické energie pro moduly HACH LANGE .....	21
Obr.11: Specifická spotřeba el. energie vztažená na BSK <sub>5</sub> (ES/BSKpřít.) .....	35
Obr.12: Specifická spotřeba el. energie vztažená na průtok OV (ES/m <sup>3</sup> ) .....	35
Obr.13: Průměrný okamžitý příkon el. energie vztažený na 1000 EO (EP/1000 EO) .....	36
Obr.14: Dotazník pro možnou úsporu elektrické energie na ČOV < 2000EO.....	40
Obr.15: Schéma aktivačního systému s předřazenou denitrifikací .....	46
Obr.16: Schéma aktivačního procesu R-D-N .....	48
Obr.17: Časový průběh přerušované nitrifikace a denitrifikace .....	56



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BAT	the best available technology (nejlepší dostupná technologie)
ČOV	čistírna odpadních vod
ČS	čerpací stanice
OV	odpadní vody
EO	ekvivalentní obyvatelé
BSK <sub>5</sub>	biochemická spotřeba kyslíku za pět dní [mg/l]
CHSK	chemická spotřeba kyslíku [mg/l]
MBR	membránový bioreaktor
SBR	sequencing bath reactor
PE	polyethylen
EDPM	ethylene propylene diene monomer
ČR	Česká republika
SR	Slovenská republika
SRN	Spolková republika Německo

## **SEZNAM PŘÍLOH**

## SUMMARY

The Diploma Thesis called Criteria of Assessment of Energy Consumption at Wastewater Treatment Plants deals with the topic of setting the appropriate criteria to help to find the causes of the extent of electric energy consumption at wastewater treatment plant. Subsequently, it helps to bring the solution for energy savings. The issue of energy optimization of wastewater treatment plants is described in detail in the theoretical part of the thesis. This includes description of current trends worldwide, cases of increment of electric energy consumption in technological processes at wastewater treatment plants. Goal to achieve in this thesis was to create questionnaire form to find possibilities for energy savings at wastewater treatment plant of the size up to 2000 Equivalent Inhabitants. The questionnaire consists of 8 sections that can define the cause of increased energy consumption. The contribution of the Diploma Thesis is to create the questionnaire and evaluation list to assess each criteria. Based on evaluation, we can find which sections are evaluated ranging 1-2 or 3-4. Once there is a section evaluated ranging from 3 to 4 we have to apply recommended solutions. To verify the questionnaire we used data from existing wastewater treatment plant. The contribution of the Thesis is to help to make the energy management of treatment plants more effective discovering the aspects on non-efficiency energy consumption and also to follow the trends in reduction of energy consumption.